Aus dem Forschungslabor für Medizinische Akustik
der Universität Düsseldorf

Direktor: Professor Dr. med. G. Esser

"Ermittlung spektraler Unterschiede in der Sprache Gehörloser, Schwerhöriger und Normalhörender zur Festlegung optimaler Filterparameter bei der Sprach-Farbbild-Transformation (SFT)"

D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

Der Medizinischen Fakultät der Universität
Düsseldorf

vorgelegt von

Nurgün Gedik-Neblung

1985

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543905_0080

Aus dem Forschungslabor für Medizinische Akustik
der Universität Düsseldorf

Direktor: Professor Dr. med. G. Esser

"Ermittlung spektraler Unterschiede in der Sprache Gehörloser, Schwerhöriger und Normalhörender zur Festlegung optimaler Filterparameter bei der Sprach-Farbbild-Transformation (SFT)"

D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

Der Medizinischen Fakultät der Universität
Düsseldorf

vorgelegt von

Nurgün Gedik-Neblung

1985

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Universität Düsseldorf

Der Dekan
der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

gez.: Prof. Dr. Hopf

Referent
gez.: Prof. Dr. Esser

Korreferent
gez.: Prof. Dr. Friedburg

Meinen Eltern gewidmet.

Inhalt

1. Einleitung

2. Die Sprache des Hörbehinderten

3. Frequenzanalyse von Sprache

   3.1. Suchtonanalyse

   3.2. Visible Speech bzw. Sonagraphie

   3.3. Echtzeitanalyse

4. Spektralanalyse von Gehörlosen-, Schwerhörigen- und Normalsprache

   4.1. Methode

   4.1.1. Testmaterial

   4.1.2. Methode des spektralen Vergleichs

   4.2. Ergebnisse

   4.2.1. "Spektraler Defekt" in der Schwerhörigensprache

   4.2.2. "Spektraler Überschuß" in der Gehörlosensprache

5. Diskussion

6. Empfehlungen für die SFT-Technik

7. Anregungen zu weiterführenden wissenschaftlichen Arbeiten

8. Zusammenfassung

1. Einleitung

Menschen, die von Geburt an stark schwerhörig oder taub sind, haben Schwierigkeiten mit und in der Umwelt.

Durch ihre Hörbehinderung können sie ihren Mitmenschen in Gesprächen kaum oder gar nicht folgen, und da ihre Sprache durch die mangelhafte oder gar fehlende akustische Rückkopplung schlecht entwickelt ist, kann man sie ihrerseits nicht verstehen. Darum sucht die Wissenschaft schon seit langem nach einer Methode, die akustische Rückkopplung durch eine optische zu ersetzen, so daß auch Gehörlose oder Schwerhörige das Sprechen möglichst verständlich erlernen können.

Bei der SFT-Technik (Sprach-Farbbild-Transformation) nach Esser und Ruhrberg wird Sprache in farbige Bilder umgewandelt. Diese Bilder werden auf einem Bildschirm sichtbar gemacht, so daß der Hörbehinderte seine Sprache als farbige Flächen, deren Hüllkurve dem momentanen Schalldruck entspricht, sehen kann und mit Hilfe eines normalhörenden und -sprechenden Lehrers seine Sprachkurve dem Sprachbild des Lehrers angleichen kann.

Die Bilder entstehen auf folgende Art: jeder Schallfrequenz ist ein bestimmter Farbton zuge-

ordnet, so daß das akustische Spektrum mit dem optischen Spektrum korreliert.

In X-Richtung läuft die Zeit, in Y-Richtung wird der momentane Schallpegel aufgetragen.

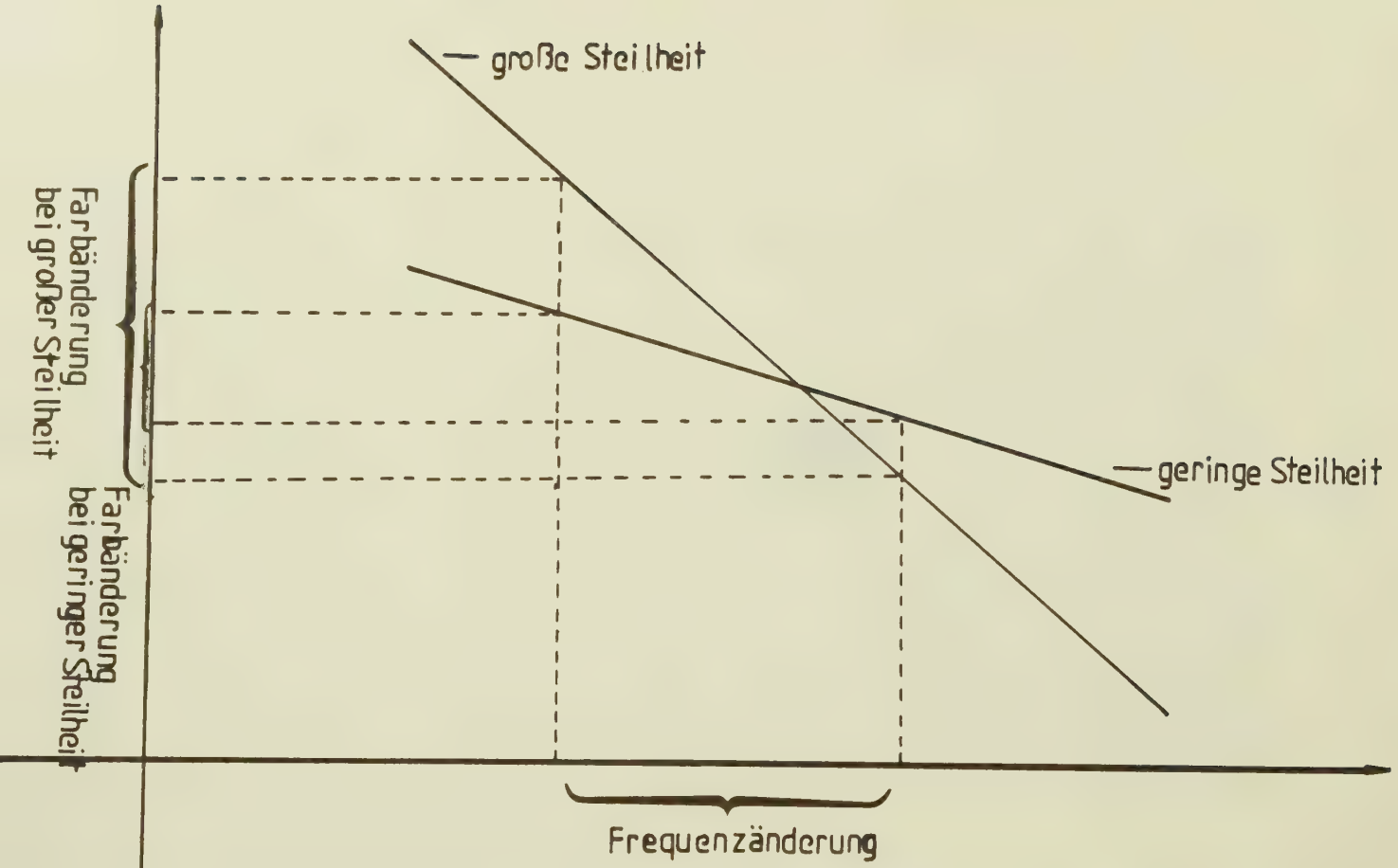
Das Eingangs- bzw. Sprachsignal läuft zunächst über einen 3-kanaligen Bandpaß mit dreieckförmiger Durchlaßcharakteristik, der dem Bildschirm vorgeschaltet ist. Die gleichgerichtete Ausgangsspannung der 3 Filter steuert die 3 Farbkathoden mit den Grundfarben rot, grün und blau.

In den ersten Versuchsaufbauten der SFT-Technik wurden die Bilder der drei Grundfarben über drei zwischengeschaltete Oszillographen mit Nachleuchtschirm gespeichert. Das Signal wurde dann mit Fernsehkameras wiederaufgegriffen, zu einem farbigen Bild gemischt und nun auf dem Bildschirm sichtbar gemacht.

Inzwischen aber erfolgt die Bildspeicherung elektronisch. Die Mittenfrequenzen der Filter wurden bei den ersten Untersuchungen nach geschätzten Erfahrungswerten auf 300, 1000 und 4000 Hz eingestellt. Daraus ergibt sich jeweils die Flankensteilheit dieser Filter, welche nur über die Mittenfrequenzen einstellbar ist. Die Flankensteilheit

der Filterdurchlaßkurven ist in jedem Punkt ein Maß für die Änderung der Farbe mit der Frequenz. Eine bestimmte Frequenzänderung bewirkt bei hoher Steilheit eine große Änderung der Grundfarbe, die diesem Kanal zugeordnet ist, eine geringere Steilheit dagegen führt nur zu einer leichten Veränderung dieser Grundfarbe. **(Bild 1).**

Die folgenden Skizzen veranschaulichen dies:



Farbänderung bei großer und geringer Steilheit

Bild 1

Obige Skizze ist eine graphische Darstellung dieser Filterdurchlaßkurven.
Da die Frequenzwerte der Filter nach Erfahrungswerten festgelegt worden waren, war das Ziel meiner Arbeit, die Mittenfrequenzen, aus denen sich die Flankensteilheit ergibt, so zu wählen, daß in den Bereichen, in denen große Unterschiede in Gehörlosen- und Schwerhörigensprache im Vergleich zur Sprache Normalhörender bestehen, von den beteiligten Farben besonders steile Durchlaßcharakteristiken zu erhalten waren. Dadurch sollen die Unterschiede zwischen den Artikulationsformen noch differenzierter hervortreten, damit der Patient seine Fortschritte von der falschen zur richten Sprache Stufe für Stufe durch deutliche Farbänderung erkennt.

2. Die Sprache der Hörbehinderten

Hierbei unterscheidet sich die Sprache des Schwerhörigen von der des Gehörlosen durch die akustische Rückkopplung. Diese ist beim Schwerhörigen "nur" vermindert, während sie beim Gehörlosen völlig fehlt. Daher resultiert auch die bessere Verständlichkeit der Schwerhörigensprache.

Wenn wir nun Vergleiche zur Sprache des Normalhörenden ziehen, fällt folgendes auf:
(Nach Lehrbuch der Sprachheilkunde, Lit.-Verz. Nr. 5): Beginnend mit der Sprechatmung stellt man fest, daß die Atemfrequenz höher ist. Das Atemvolumen sinkt, die Frequenz steigt, also genau umgekehrt wie beim Normalhörenden. Der Gehörbehinderte atmet paradox, da die Abfolge rasche Inspiration, langsame Exspiration, bei einem Zeitdauerverhältnis von etwa 1 : 6 eher umgekehrt ist. Außerdem sind Zwischeninspirationen auffällig. Die Atem-, Phonations- und Artikulationsbewegungen sind mangelhaft koordiniert, und die geräuschhafte In- und Exspiration erschweren die Verständlichkeit des Gesprochenen.

Der übernormale phonatorische und artikulatorische Aufwand bewirkt eine unnatürliche und sich spontan verändernde Stimmqualität. Da beim Gehörlosen die Kontrolle durch das Gehör fehlt, kommt oft eine übermäßig hohe Sprechweise und ein zu starkes Senken der Stimme zustande.
Was die Sprachmelodie angeht, findet man eine fortwährend gleichklingende, eintönige Stimme, da der Wechsel von Höhe und Tiefe, von Stärke und Schwäche der einzelnen Stimmklänge fehlt. Ebenso ist es bei Wort- und Satzakzenten, Intensitätsunterschiede werden eingeebnet. Das Sprechtempo ist außerordent-

lich langsam, was wieder korreliert mit der Verständlichkeit.

Bei der Bildung von Vokalen gibt es sog. Reduktionserscheinungen, es fällt eine Schwäche in Bezug auf die Differenzierung auf, Vokaldehnung - oder - Kürzung fehlt meist, die Bewegungen der Lippen sind "verwaschen". Bei den Konsonanten finden wir eine starke Veränderung der Reibelaute. Statt ihrer treten oft entsprechende Verschlußlaute auf, so z. B. statt der tönenden Reibelaute "w" und "s" die Verschlußlaute "b" und "d", statt "f" der Verschlußlaut "p", statt des tonlosen "s" der Verschlußlaut "t", scharfe Unterschiede sind nicht zu erkennen.

Bei allgemein schlaffer Artikulation findet man bei Schwerhörigen mangelhafte Artikulation des Gaumensegels, so daß mehr oder weniger deutlich charakteristisches Näseln auftritt. Auch die Stimmeinsätze sind problematisch, sie verrauschen oft, d. h. sie werden gehaucht.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß Schwerhörige sich auf ihr Gehör verlassen und glauben, daß das was sie hören richtig ist. Sie lernen zwar Laute richtig zu sprechen, lassen aber oft Endungen oder den

letzten Buchstaben eines Wortes, z. B. das "t" bei "hört" weg. Besonders die hohen Frequenzen wie z. B. "z", "s", "f", werden falsch gesprochen. Es ist also beim Schwerhörigen ein Defizit in der Sprache feststellbar.
Er lernt Falsches, und es ist recht schwierig, ihm ein neues Muster beizubringen. Allerdings hat er es in Bezug auf Sprachmelodie und Sprachrhythmus leichter, da sein Gehör, wenn auch nur begrenzt funktioniert.
Der Gehörlose dagegen ist angewiesen auf sein Gefühl. Er spricht entweder im hohen Kopfton oder im kehligen Ton der Pharynxhinterwand. Die Frequenzen sind entweder zu stark oder zu schwach. Nuancen oder Zweideutigkeiten sind für ihn nicht lernbar, deshalb wirkt die Sprache oft monoton und ist schwer steuerbar. Zwar lernt er nichts Falsches, da er es ja nicht hört, aber die richtige Sprachmelodie oder die Betonung zu treffen, ist für ihn fast unmöglich. Dadurch ist die Gehörlosensprache durch ein Zuviel an Lauten teilweise kaum verständlich.

3. Frequenzanalyse von Sprache

3.1. Suchtonanalyse

Dieses Verfahren nach Grützmacher, eines der am längsten bekannten, ist eine sehr genau arbeitende Methode. Allerdings muß der Klang, der untersucht werden soll, mehrere Minuten lang unverändert dargeboten werden, damit alle Teiltöne seines Spektrums erfaßt werden. Und es ist eine sehr zeitraubende Methode.
Am Gitter einer Verstärkungsröhre greift der vom Tonband aufgenommene Schall und der sog. "Suchton" an. Der Suchton wird von einem Schwebungssummer erzeugt, er ist eine sinusförmige Spannung mit regelbarer Frequenz. Am Ausgang des Verstärkers befindet sich ein Tiefpaßfilter, der nur einen engen Frequenzbereich durchläßt. Dem zu prüfenden Signal wird der Suchton überlagert, und durch die nachgeschaltete Tiefpaßfilterung werden entsprechende Spektralanteile gefiltert.

Wenn die Amplitude des Suchtons größer ist als die Amplitude der Schallfeldkomponente, bekommt man eine Meßanzeige, die proportional dem Schalldruck der Schallfeldkomponente ist.

Bei diesem Verfahren sind die einzelnen Laute zu endlosen Tonbandschleifen zusammengeklebt. Das Tonband läuft mit einer bestimmten Geschwindigkeit, und der Analysiervorgang wird so eingestellt, daß zum Überstreifen des gesamten geprüften Frequenzfeldes ebenfalls eine bestimmte Zeit benötigt wird.

Ein Pegelschreiber registriert auf einem Papierstreifen sofort die genaue Lage der einzelnen Teilfrequenzen und ihre Schallstärke.

Versuchsanordnung:

VERSUCHSANORDNUNG:

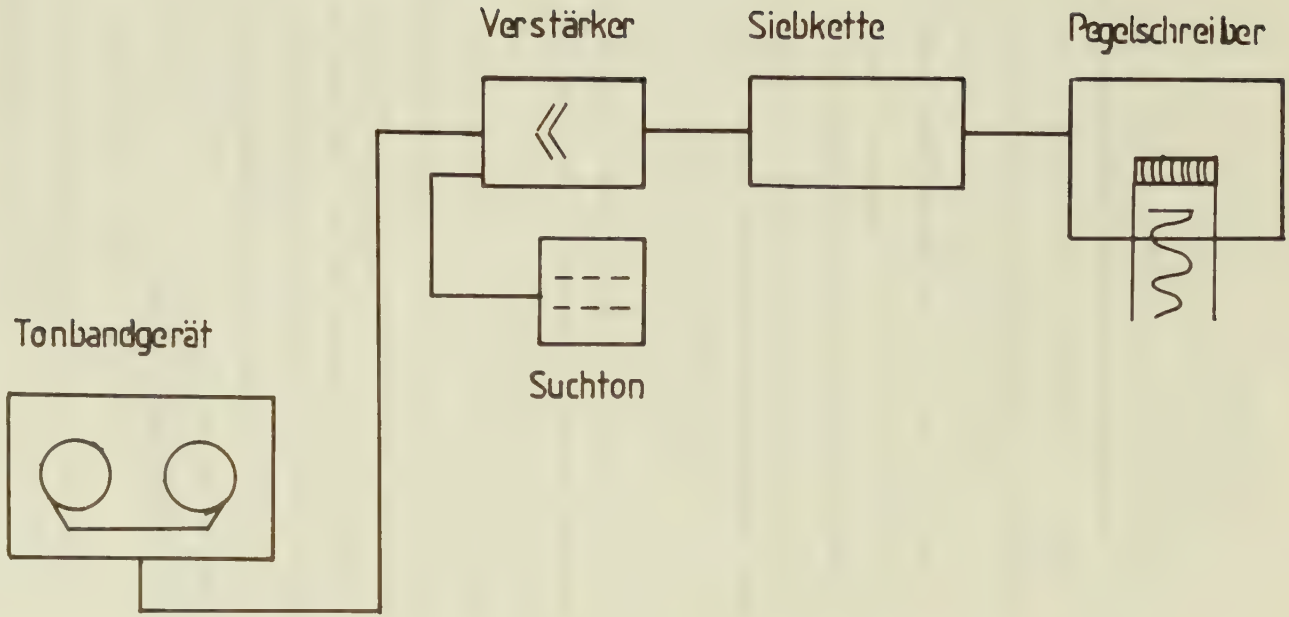


Bild 2: Suchtonanalyse (schematisch)

3.2. Visible Speech bzw. Sonagraphie

Der klassische Schallspektograph arbeitet auf dem im vorangehenden Kapitel beschriebenen Prinzip der Suchtonanalyse. Ein Nachteil des klassischen analogen Verfahrens liegt in den nur 8 Stufen der Grautöne zur Darstellung und der begrenzten Dynamik mit ca. 18 dB. Da der mit einem Tonbandgerät mögliche Dynamikbereich von ca. 40 dB wiedergegeben werden soll, müssen laute Stellen abgeschwächt und leise hervorgehoben werden, was dann wiederum niemals exakt reproduzierbar ist. Außerdem ist die Signaldauer zu kurz.

Im neueren Verfahren nach Kuenzel u. Borgs besteht die Möglichkeit, beliebig lange Sprachsegmente farbig darzustellen.

Statt der Suchtonanalyse wird die Fouriertransformation benutzt. Das digital umgewandelte und auf Magnetplatte gespeicherte Signal wird abschnittsweise in einen Spaltenwerter fransformiert und so das Sonagramm spaltenweise aufgebaut. Die Frequenzauflösung beträgt 50 Hz, die zeitliche Folge der Transformation 2,5

Die Wiedergabe kann in 64 Graustufen oder Farbtönen dargestellt werden, mit einer Dynamik von 36 dB.

Die Abbildungen auf dem Bildschirm können abfotographiert werden, was unter Umständen zu gewissen Qualitätseinbußen führen kann.
Dieses Verfahren ist also sehr gut geeignet, um pathologische Sprache, also z. B. die eines Gehörlosen, zu analysieren und "sichtbar" zu machen (visible speech).

Da aber nahezu die gesamte Information der Sprache in den Abbildungen geliefert wird, ist es nicht möglich, diese als Lernmittel zur Kontrolle und Verbesserung der eigenen Sprache zu benutzen. Die Figuren sind so bizarr, daß sie vom visuellen Zeitgedächtnis nicht behalten werden und nicht lernbar sind. Nicht alles was technisch-logisch oder zweckmäßig ist, entspricht der menschlichen Physiologie. Außerdem sind Signale, also gesprochenes Wort, und dessen Abbildung auf dem Bildschirm nicht zeitsynchron, sondern es erscheint mit langer Verzögerung (bis zu 30 Min.), so daß auch schon dadurch keine sofortige Korrektur und eben der richtige Lerneffekt nicht erreichbar wäre.
Dieses wird erst durch die im Folgenden beschriebene Echtzeitanalyse ermöglicht.

3.3. Echtzeitanalyse

Es gibt prinzipiell zwei Formen der Echtzeitanalyse: Bei der ersten Form greift der Rechner einen zeitlich begrenzten Anteil des akustischen Vorgangs heraus und analysiert diesen, nach vorheriger Digitalisierung, nach dem Foussierprinzip und stellt ihn als Frequenzspektrum auf dem Bildschirm dar.

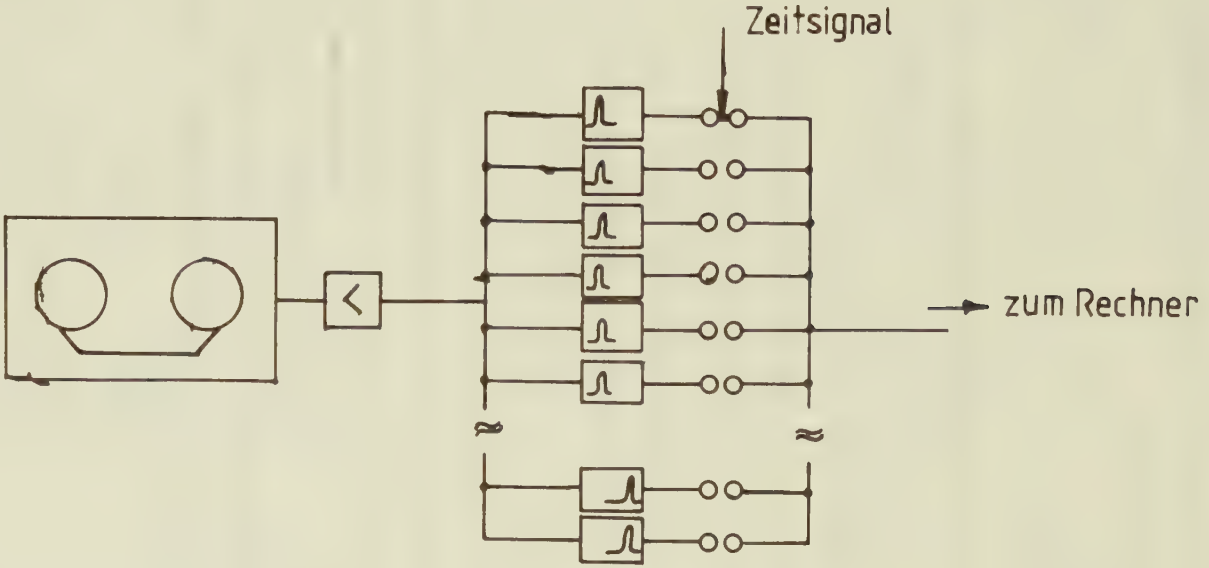
Bei der zweiten Form haben wir eine Filterbank mit bis zu 128 Kanälen, die fest auf verschiedene Durchlaßfrequenzen abgestimmt sind. Der nachgeschaltete Rechner summiert die Einzelspektren über einen Zeitraum von mehreren Sekunden.

Eine andere Möglichkeit wäre die, über den Zeitraum eines Wortes oder Satzes zu mitteln.

Hier wird in der x-Achse die Frequenz aufgetragen. Die dabei sichtbaren Balken im Fernabstand haben eine bestimmte Höhe, die die Amplitude angibt. Nun ist es möglich, ganze Worte zu analysieren und darzustellen, im Unterschied zu den vorher beschriebenen Formen.

Schemazeichnung der Filterbank

Bild 3: Schemazeichnung der Filterbank mit elektronischem Rotationsschalter



4. Spektralanalyse von Gehörlosen-, Schwerhörigen- und Normalsprache

4.1. Methode

4.1.1. Testmaterial

Um bei unseren Patienten die Sprache adäquat analysieren zu können, mußten bestimmte Worte ausgewählt werden. Diese Worte wurden von jedem Patienten gesprochen, analysiert und anschließend verglichen.
Ich wählte dazu 16 Worte aus der "Möhring'schen Lauttreppe" aus. Diese ist eine Zusammenstellung von Worten, wobei den Lauten aus der deutschen Sprache bestimmte Worte zugeordnet sind. Jedes dieser Worte enthält einen zugehörigen Prüflaut. Meine 16 Worte als Testmaterial ergaben sich auf folgende Weise: Ich schrieb mir alle Laute der deutschen Sprache in Lautschrift auf und daneben das zugehörige Wort aus der Möhring'schen Lauttreppe, das diesen Laut beinhaltet. Aus dieser Liste werden alle Laute, die mehrfach auftraten, herausgenommen, um das Verfahren nicht zu komplizieren. So blieben 16 Worte übrig: Hose, Gabel, Löwe, Loch, Junge, Blume, Frau, ich, April, Schlüssel, vergnügt, gnädig, Schnee, Knie, zwölf, entzwei.

Möhring'sche Lauttreppe

Wortgruppe Wortlaut Prüflaut	I 54	II 54	III 53
m	Mutter	Hammer	Baum
b	Ball	Bubi	geben
h	Haus	Uhu	Hose
n	Nase	Ananas	Mann
d	Dose	Nadel	Faden
p	Post	Puppe	piep
l	Löffel	Teller	Gabel
t	Tante	Tüte	Boot
f	Fahne	Ofen	Schiff
w	Wagen	Löwe	Wind
ch (2)	Dach	Kuchen	Loch
j	Jäger	Jacke	Junge
ng	Finger	fangen	Ring
k	Koffer	Ecke	Stock
bl	Blume	neblig	blau
nk	Onkel	Schinken	Dank
g	Gans	Geige	Geld
br	Brot	Albrecht	braun
fr	Frau	Afrika	frech
pl	Platz	hopla!	plaudern
fl	Flieger	fleißig	Flasche
ch (1)	Küche	Becher	ich
dr	drei	Drachen	drehen
pr	Prinz	April	probieren
tr	Treppe	Gertrud	Trommel

kl	Klasse	ecklig	kleben
gl	Glas	Unglück	gleich
sch	Schule	naschen	Fisch
gr	grün	Grete	graben
st	Kaste	Weste	Fenster
kr	Kreide	Kragen	krumm
scht=st	Stein	Stiefel	Stuhl
sp	Knospe	Wespe	Kasper
ß	Maus	Messer	Eis
schp=sp	Spiegel	Spatz	spucken
pf	Pferd	Apfel	Kopf
x=kß	sechs	Hexe	Fuchs
schl	schlafen	Schlüssel	schlimm
s	singen	Else	Seife
gr	Gerade	vergnügt	gnädig
r	rot	Lehrer	vier
schm	Schmalz	schmecken	Schmutz
schn	Schnee	Schneider	Schnupfen
z=zß	Zahn	Mütze	Franz
kn	Knie	Knopf	knacken
schr	Schrank	schreiben	Schreck
schw	schwarz	Schwester	Schwein
qu=kw	quälen	bequem	Quelle
schpr=spr	springen	sprechen	Spruch
pfl	Pflaume	Pflaster	pflücken
schtr=str	Straße	stricken	Strumpf

zw=tßw	zwölf	entzwei	Zwerg
gt,cht,nf	Saft	backt	fünf
rsch	Hirsch	Storch	-

(entnommen aus W. Ruhrberg: Zur quantitativen Erfassung von Sprachstörungen im Kindesalter)

Für Laute typische Worte

ɑː	:	= Gabel	**Grundvokal**
ɑ	:	= Mann	
eː	:	= Schnee	
ɛ	:	= Else	
ɛː	:	= gnädig	
iː	:	= Spiegel	
ɪ	:	= Wind	
oː	:	= Ofen	
ɔ	:	= Stock	
uː	:	= Blume	
u	:	= Mutter	
øː	:	= Löwe	Umlaut
œ	:	= zwölf	
yː	:	= Prügel	
ʏ	:	= Schlüssel	
ə	:	= Tante	Mittelzungenvokal
a͡ɪ	:	= Seife	Diphthong
a͡ʊ	:	= Frau	
b	:	= Blume	Verschlußlaut
p	:	= Platz	
m	:	= Hammer	Nasal
d	:	= Feder	Verschlußlaut
t	:	= Boot	
n	:	= Nase	Nasal
g	:	= Geige	Verschlußlaut
k	:	= Kaffee	

ŋ	:	= Onkel	Nasal
v	:	= Wind	Reibelaut
f	:	= Schiff	
z	:	= singen	
s	:	= Maus	
ʃ	:	= naschen, Fisch	
j	:	= Jacke	
ɕ	:	= ich	
x	:	= Dach	
l	:	= Teller	
r	:	= April, rot	Zungenspitzen "r" Schwinglaut
ʀ	:	= "Rachen" r	
h	:	= Uhu	

Worte in Lautschrift

entzwei	ɛntʦvaɪ̯
Hose	ho:zə
gnädig	gnɛ:dɪg
Spiegel	ʃpi:gəl
Blume	blu:mə
Löwe	løvə
zwölf	ʦvœlf
Prügel	pry:gəl
Schlüssel	ʃlʏsəl
Junge	juŋə
ich	ɪç
Loch	lɔx
Frau	fraʊ̯
Schnee	ʃne:
Gabel	gaːbəl
Knie	kni:
vergnügt	fɐgny:gt
April	aprɪl
gnädig	gnɛ:dɪg
Spiegel	ʃpi:gəl
Stock	ʃtɔk
Blume	blu:mə
Löwe	løvə
zwölf	ʦvœlf
Prügel	pry:gəl
Schlüssel	ʃlʏsəl

Jacke	j a k ə
ich	ɪ ç
Dach	d a x
Seife	z a ɪ̯ f ə
Frau	f r a u
Schnee	ʃ n e:
Else	ɛ l z ə
Gabel	g a: b ə l
Ofen	o: f ə n
Mutter	m u t ɔ r
Onkel	ɔ ŋ k ə l
Uhu	u: h u:

Auftreten einzelner Laute

ɑ:	𝍸
a	𝍸 𝍸 𝍸
e:	𝍸
ɛ	𝍸
ɛ:	𝍸
ɪ:	𝍸
ɪ	𝍸 𝍸
o:	𝍸
ɔ	𝍸
ʏ:	𝍸
ʊ	𝍸
ø:	𝍸
œ	𝍸
y:	𝍸
ʏ	𝍸
ə	𝍸 𝍸 𝍸 𝍸
aɪ̯	𝍸
aʊ	𝍸
b	𝍸
p	𝍸
m	𝍸
d	𝍸
t	𝍸 𝍸
n	𝍸 𝍸 𝍸
g	𝍸 𝍸
k	𝍸
ŋ	𝍸
v	𝍸
f	𝍸 𝍸
z	𝍸
s	𝍸
ʃ	𝍸 𝍸
j	𝍸
ɣ	𝍸
x	𝍸
l	𝍸 𝍸 𝍸
r	𝍸 𝍸
h	𝍸

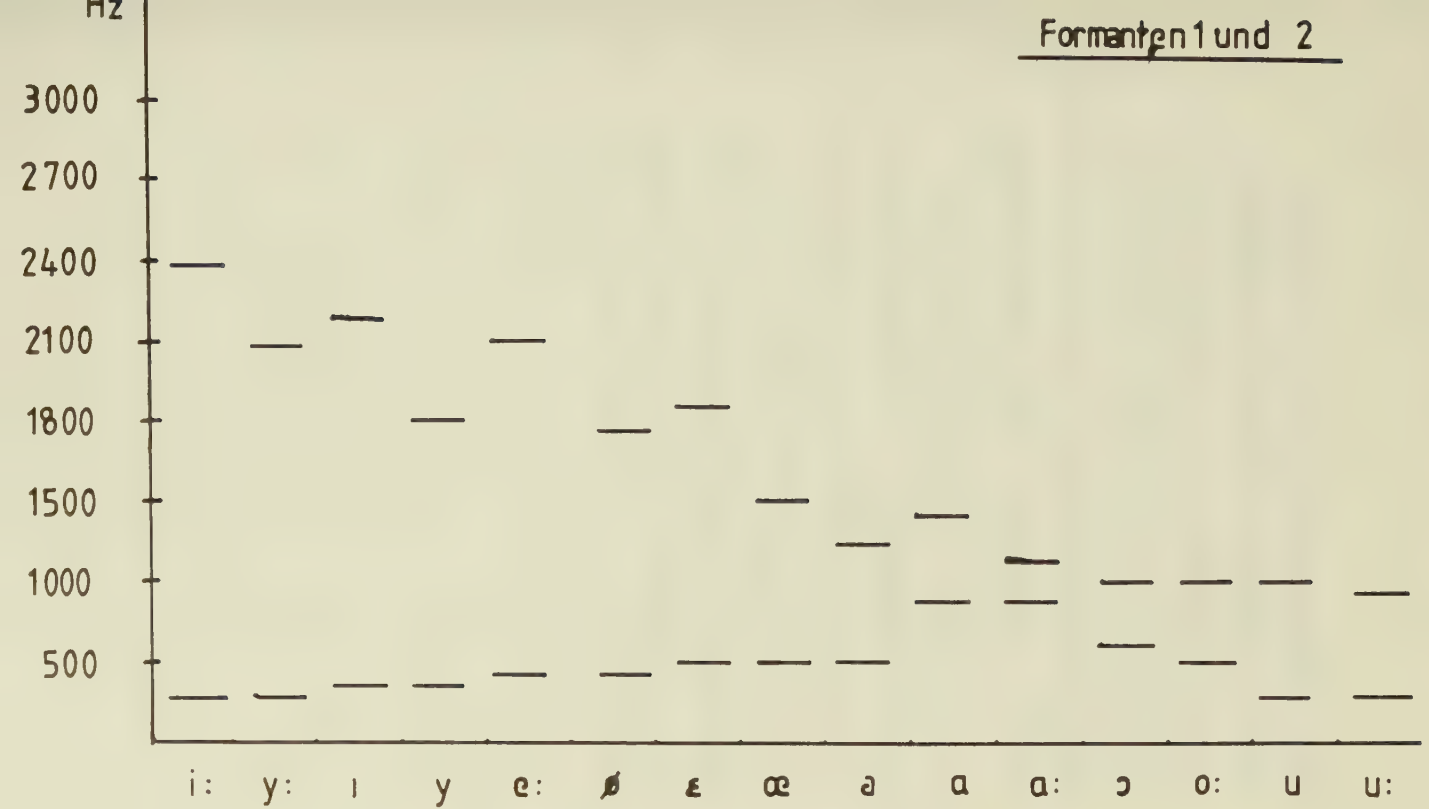
Da mir Tonbandaufnahmen von Schwerhörigen bzw. Gehörlosen männlichen wie weiblichen Geschlechts mit Worten der Möhring'schen Lauttreppe zur Verfügung standen, konnte ich meine ausgewählten 16 Worte vom Tonband auf den Frequenzanalysator geben und sie analysieren.

Im Vergleich zu den Hörbehinderten nahm ich diese Worte noch von mir und meinem Mann auf Tonband auf und analysierte auch diese, so daß ich das Frequenzspektrum der Sprache Normalhörender dem schwerhörigen Menschen gegenüberstellen konnte.

Ich brauchte dazu nur eine geringe Anzahl von Patienten, denn die Unterschiede zur normalhörigen Sprache sind so massiv, daß es durchaus sehr anschaulich möglich ist, diese an einigen Einzelpersonen zu demonstrieren. Die Unterschiede in den einzelnen Gruppen selbst sind vernachlässigbar gegenüber den gravierenden Unterschieden der verschiedenen Gruppen zueinander.

4.1.2. Methode des spektralen Vergleichs

Zum Folgenden stelle ich die Methode des spektralen Vergleichs dar und versuche zu klären, warum ein direkter Vergleich z. B. durch Übereinanderlegen der Hüllkurven analysierter Worte nicht möglich ist.
Es gibt bestimmte Teiltongebiete, die für die Klangfarben, z. B. von Vokalen, verantwortlich sind. Solche Teiltongebiete, Formanten genannt, werden gebildet aus den Resonanzbereichen der verschiedenen Hohlräume des menschlichen Stimm- und Sprachapparates.



(Aus H.H.Wängler, Grundriß einer Phonetik des Deutschen, Elwert Verl. Marburg 1967)

Bild 4

Der primäre Kehlkopfton entsteht durch Schwingung der Stimmlippen. Um diese Schwingungsform zu erklären, kann man den Vergleich der Sinusschwingung zur sägezahnförmigen Schwingung zu Hilfe nehmen. Wenn man in ein Koordinatenkreuz, auf dessen Abszisse die Zeit und auf deren Ordinate die Amplitude aufgetragen ist, eine Sinusschwingung einzeichnet, ergibt dies das bekannte charakteristische Bild (Bild 5). Trägt man nun auf der x-Achse die Frequenz auf, so wird im Koordinatenkreuz ein Punkt abgebildet. Dieser Punkt stellt den Schnittpunkt der Sinusschwingung mit der x-Achse im Abstand $T = \frac{1}{2\pi f}$ dar. Nach Übereinkunft zeichnet man zur besseren Darstellbarkeit eine Linie von diesem Punkt auf die x-Achse. Dies ist die Spektrallinie einer Sinusschwingung (Bild 6).

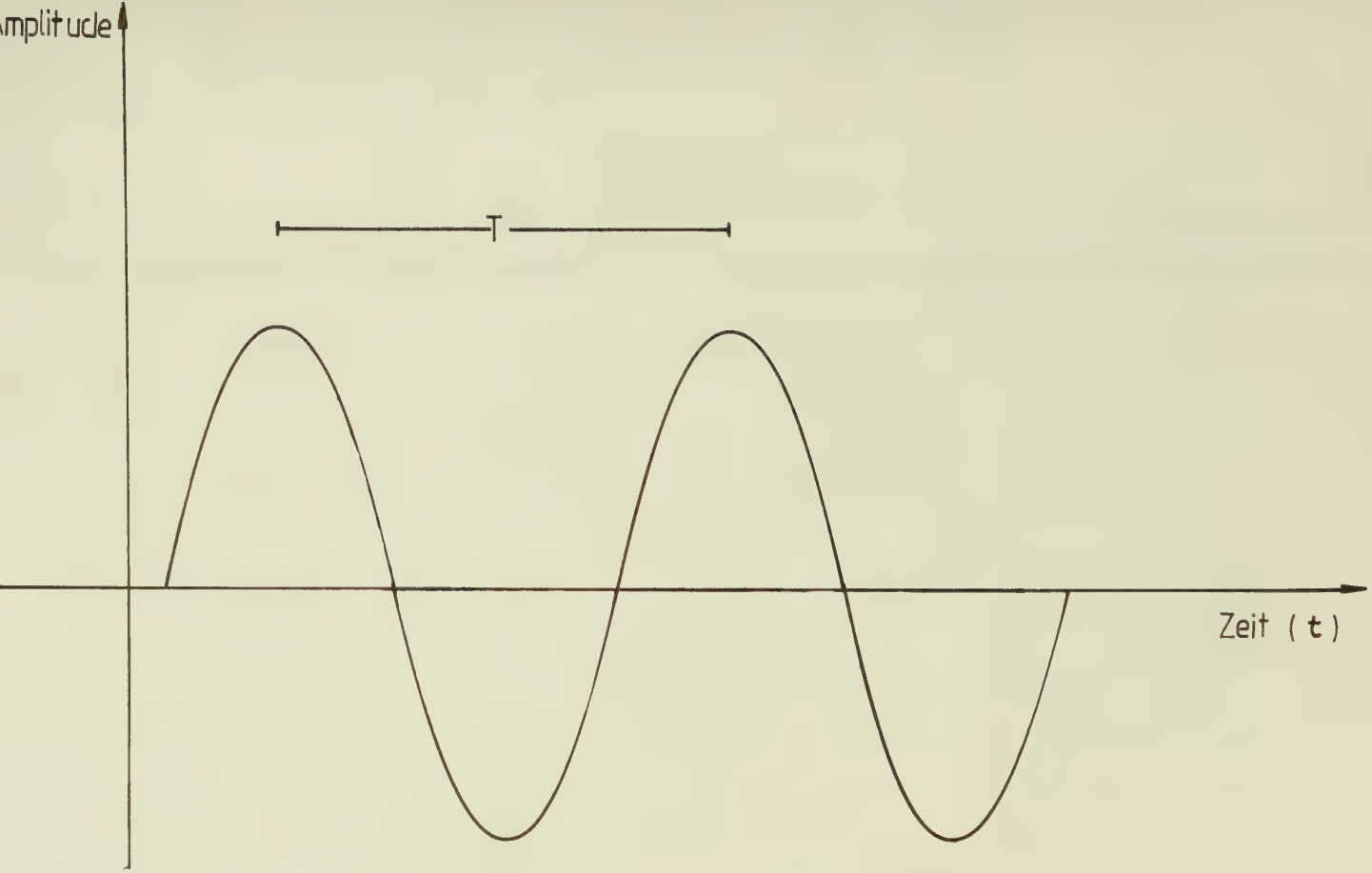


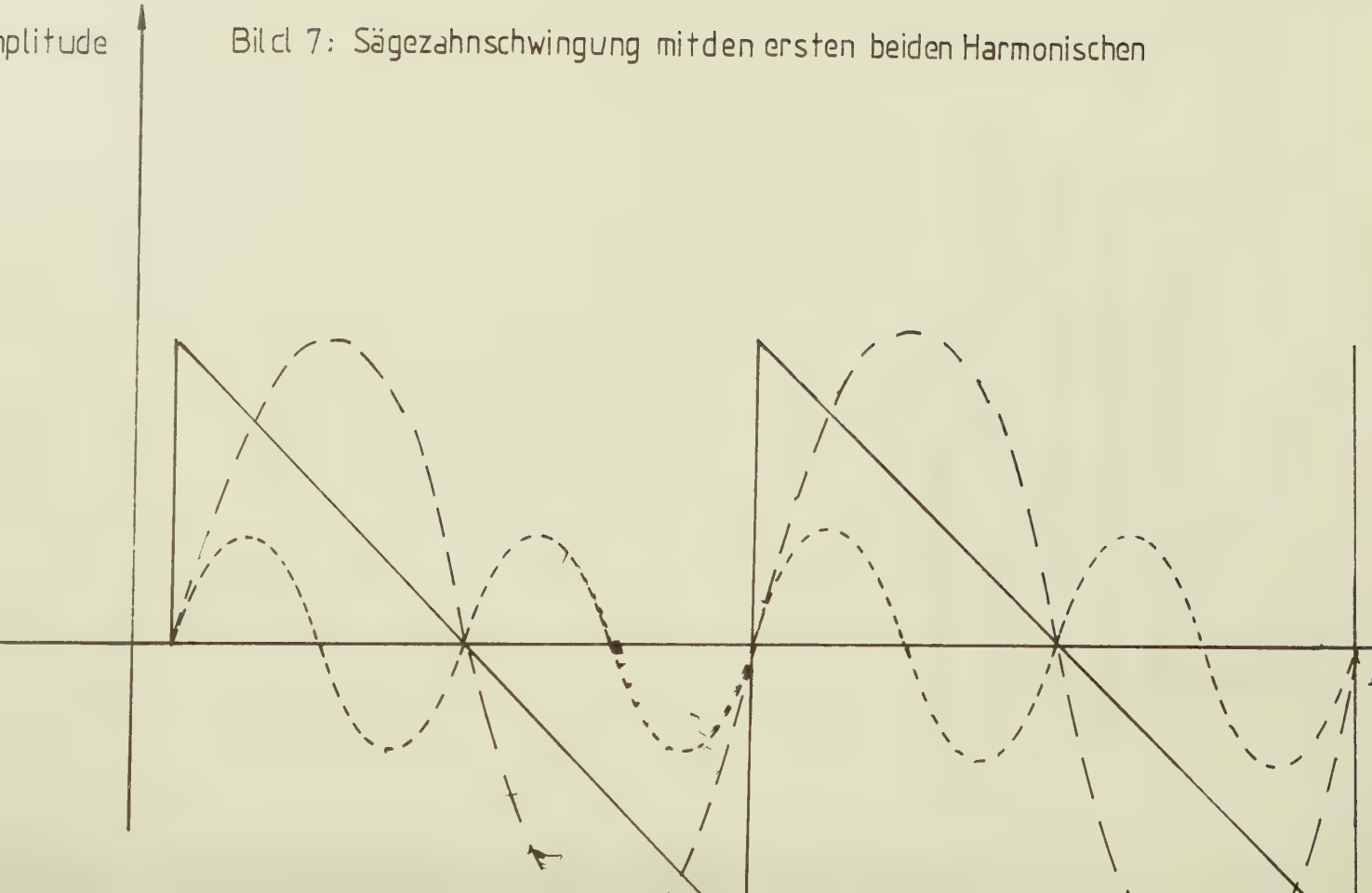
Bild 5 : Sinusschwingung in Abhängigkeit von der Zeit

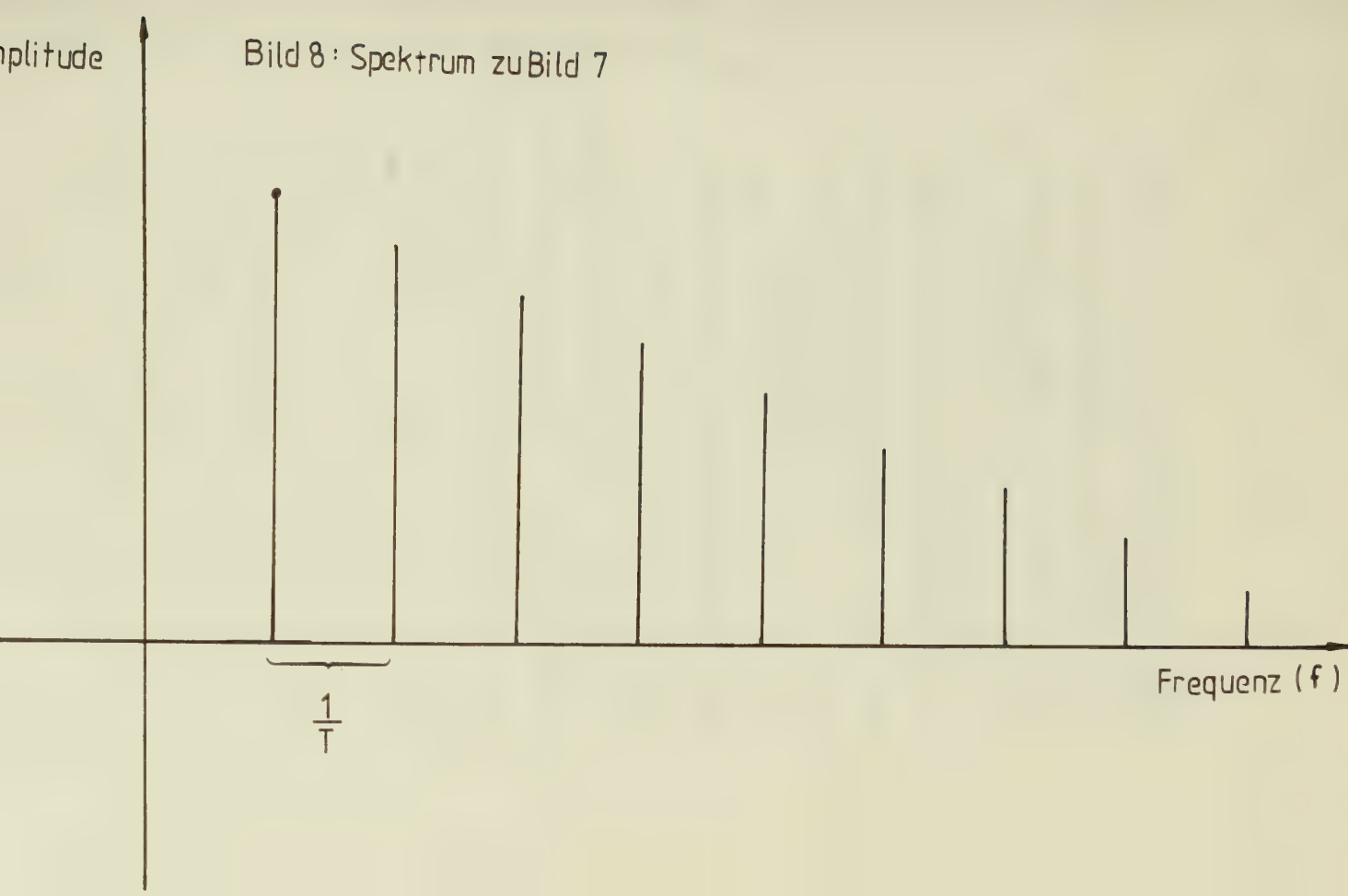
Bild 6: Sinusschwingung in Abhängigkeit vonder Frequenz

Wenn man nun eine sägezahnförmige Schwingung ebenfalls als Spektralkurve darstellen will, ergeben sich verschiedene Spektrallinien mit bestimmter Höhe, in einem bestimmten Abstand, da sich ja jeder Sägezahn aus Sinusschwingungen aufbaut (Bild 7). Der Abstand von Spektrallinie zu Spektrallinie beträgt $\frac{1}{T}$.

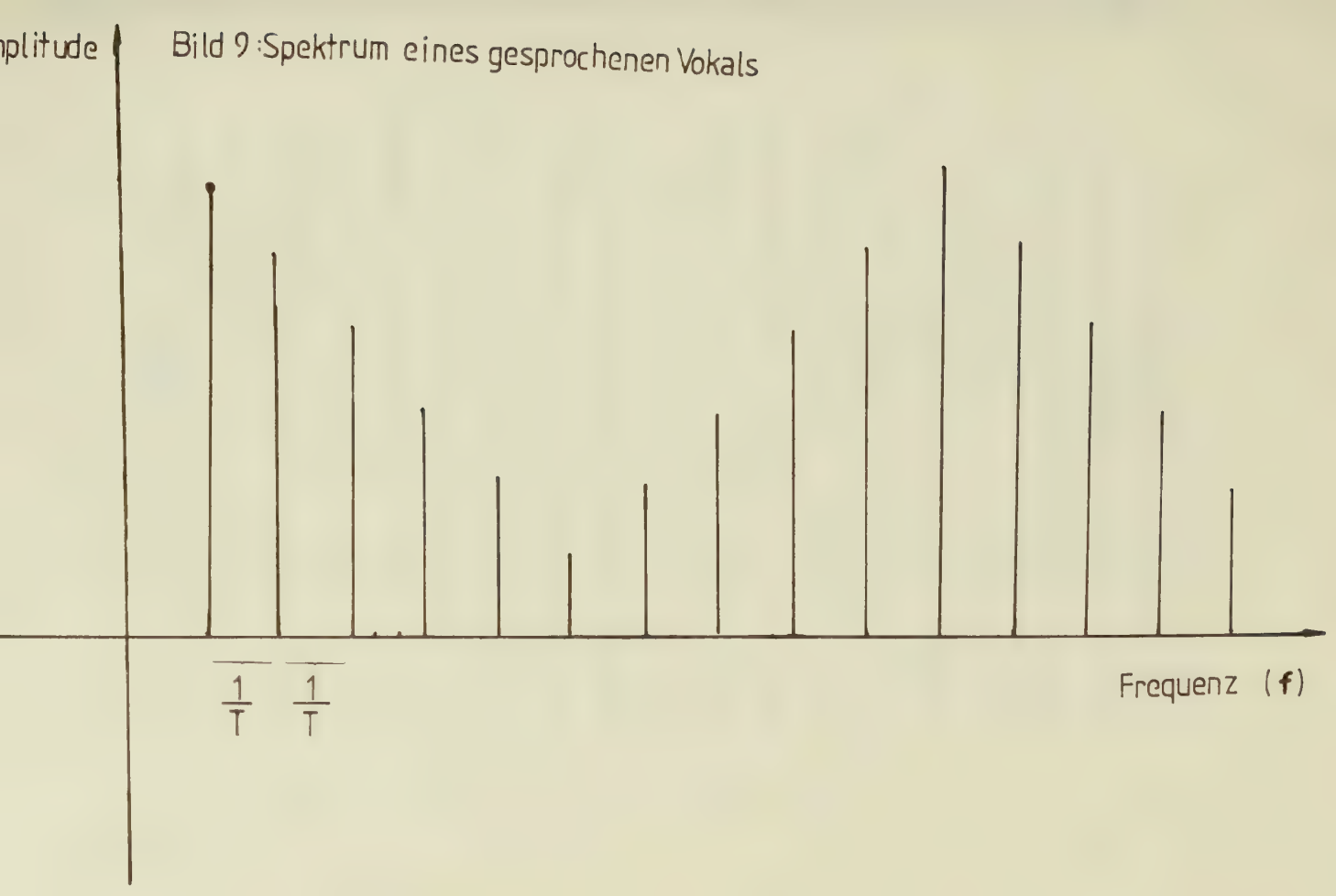
plitude

Bild 7: Sägezahnschwingung mit den ersten beiden Harmonischen




plitude
Bild 8 : Spektrum zu Bild 7
1/T
Frequenz (f)

Wenn wir uns nun der Schwingungsform der menschlichen Stimmlippen zuwenden, stellen wir fest, daß diese der sägezahnförmigen Schwingung ähnlich ist. Dargestellt in unserem Koordinatensystem (x-Achse: Frequenz) ergibt sich eine Reihe von Spektrallinien abnehmender Höhe und kleinerwerdendem Abstand. (Bild 9) Verbindet man die Endpunkte dieser Spektrallinien miteinander, ergibt sich eine Hüllkurve. Durch Veränderung der Artikulationsorgane, insbes. der Resonanzräume, kann die Hüllkurve verändert werden. So ergibt sich für jedes gesprochene Wort eine charakteristische Hüllkurve. Da aber die Grundtöne menschlicher Stimmen unterschiedlich sind, ergibt sich eine Verschiebung der Spektrallinien unserer Hüllkurve. Bei höherem Grundton sind die Spektrallinien weniger dicht. Die Obertöne liegen weiter auseinander. Bei tieferem Grundton sind die Linien dann entsprechend näher zusammen.


plitude
Bild 9 :Spektrum eines gesprochenen Vokals
1/T
1/T
Frequenz (f)

Wegen der unterschiedlichen Grundtöne und der daraus folgenden Verschiebung der Spektrallinienkurve ist also ein direkter Vergleich nicht möglich. Um die Differenz im Grundton zwischen Männer- und Frauenstimme deutlicher darzustellen, können wir die Frequenzanalyse von Vokalen der deutschen Sprache zu Hilfe nehmen.
Legt man die Kurvenbilder des entsprechenden Lautes übereinander, so sieht man, wie sich das Frequenzspektrum dem Grundton entsprechend verschiebt (Bild 10 a,b, 11 a,b). Jeder von der Männerstimme gesprochene Vokal zeichnet sich auf dem Analysenpapier im tiefen Frequenzbereich ab. Das Bild selbst ist bei beiden Sprechern ähnlich, differiert aber im Grundtonbereich. Wegen der unterschiedlichen Grundtöne und der daraus folgenden Verschiebung der Spektrallinienkurve ist also ein direkter Vergleich nicht möglich. Die Bilder zeigen die Frequenzanalyse eines gesprochenen Wortes. Darunter ist eine Eichzacke aufgetragen. Die Frequenzzeichnung war bei 1000 Hz. An einem Meßgerät, das an den Analysator gekoppelt war, wurde außerdem eine feste Amplitude konstant eingestellt. Die Amplitudeneichung lag bei 10 cm. Auf jedem Blatt ist also eine Eichzacke von 10 cm Höhe mit einer Frequenz von 1000 Hz aufgetragen.

ICH

N♀

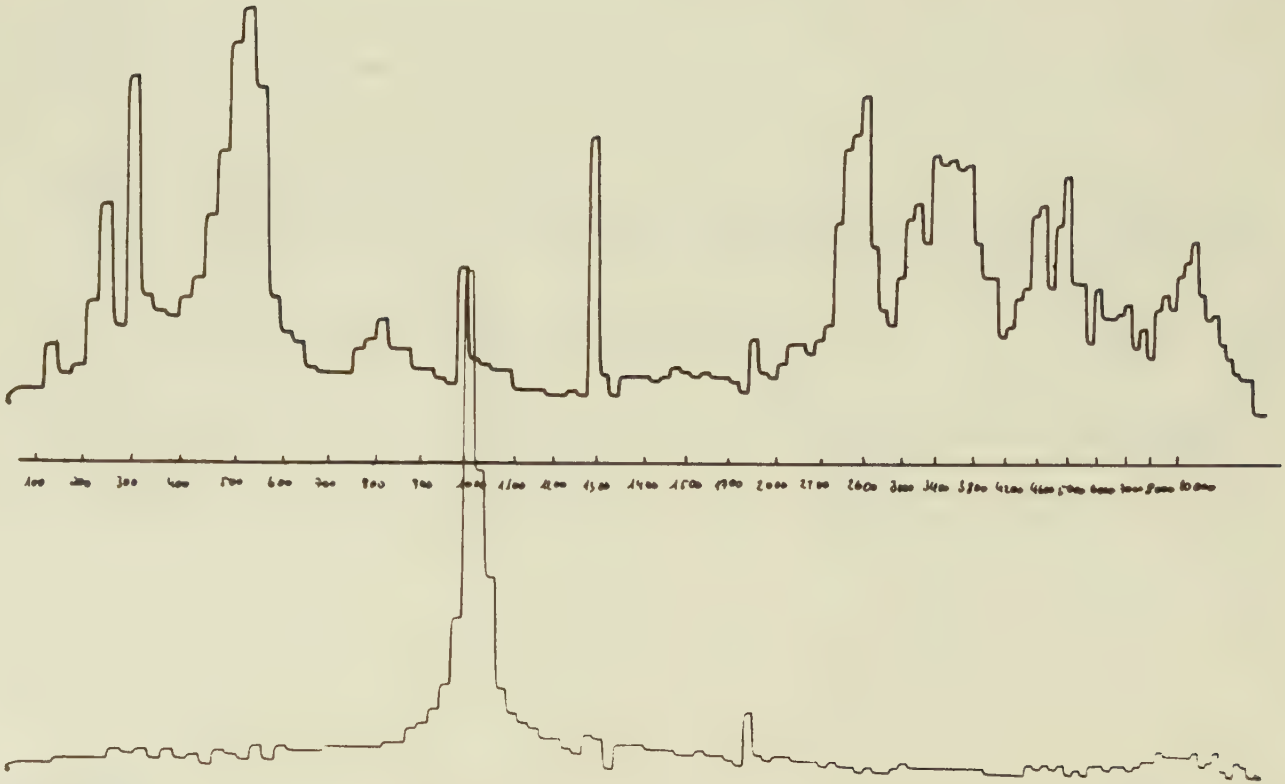
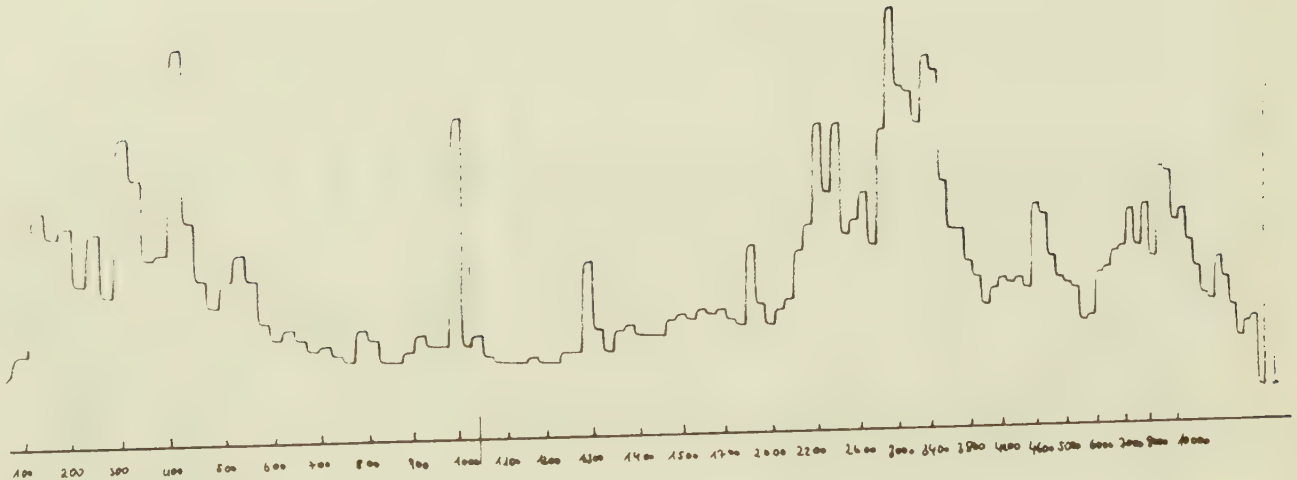


Bild 10a

ICH

NÓ


100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1700
2000
2200
2600
3000
3400
3800
4400
4600
5000
6000
7000
8000

KNIE

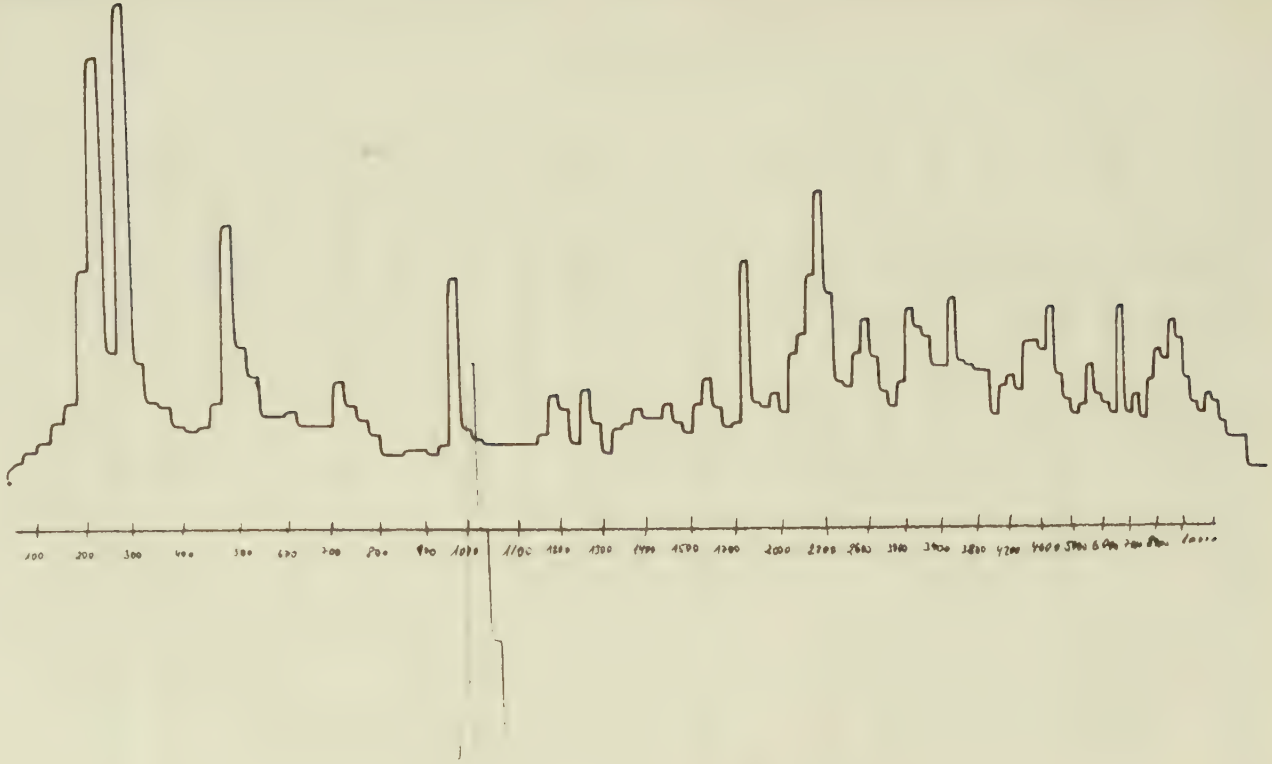


Bild 11 a

KNIE

N8

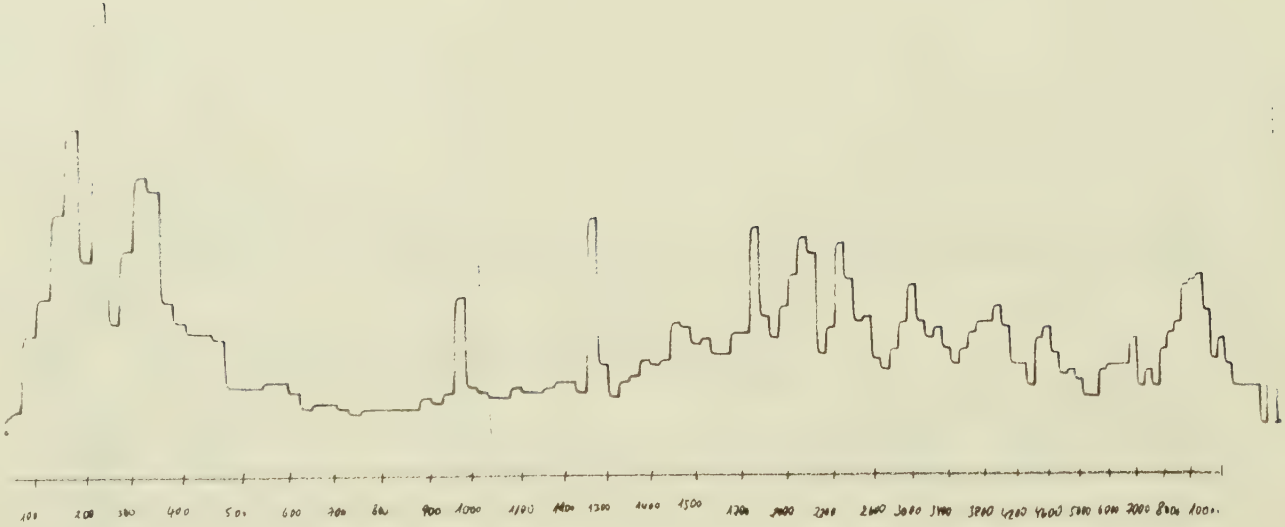


Bild 11 b

Wie der spektrale Vergleich vorgenommen wurde, veranschaulichen folgende Bilder:
Da sich der logarithmische Maßstab für audiologische Darstellungen als besonders günstig erwiesen hat, wurden die Frequenzspektren auf logarithmisches Papier übertragen, günstig deshalb, weil er physiologisch ist, da sich die Frequenzen auf der Basilarmembran im Innenohr genauso darstellen. Der Analysator, der für phoniatrische Zwecke entwickelt worden ist, arbeitet mit einem gestuften linearen Maßstab.

Das Vorgehen bei der zeichnerischen Auswertung ist im folgenden dargestellt:
Waagerecht zu den Linien der Frequenzspektren zeichnete ich drei Fächer. Im obersten Fach ist das Spektrum des Normalhörenden aufgetragen, darunter das des Schwerhörigen und als drittes das des Gehörlosen. Zwischen den einzelnen Fächern blieb Platz für den Vergleich. So verglich ich zuerst das Frequenzspektrum des SH und dann das des GH jeweils mit dem NH (Bild 12-14). Das erfolgte bei jedem der 16 Worte getrennt. Die Unterschiede wurden mit Punkten markiert und in einer Zeichnung zusammengefaßt. Außerdem wurden männliche und weibliche Probanden getrennt verglichen, da ja der Grundton zu Unterschieden in der Spektraldarstellung führt (Bild 15 a u. b). Aus optischen Gründen habe ich

die Zusammenfassung nochmals in schraffierten Kästchen dargestllt (Bild 16 a u. b).
So kann man die Unterschiede in den Spektren von Gehörlosen und Schwerhörigen deutlich erkennen.

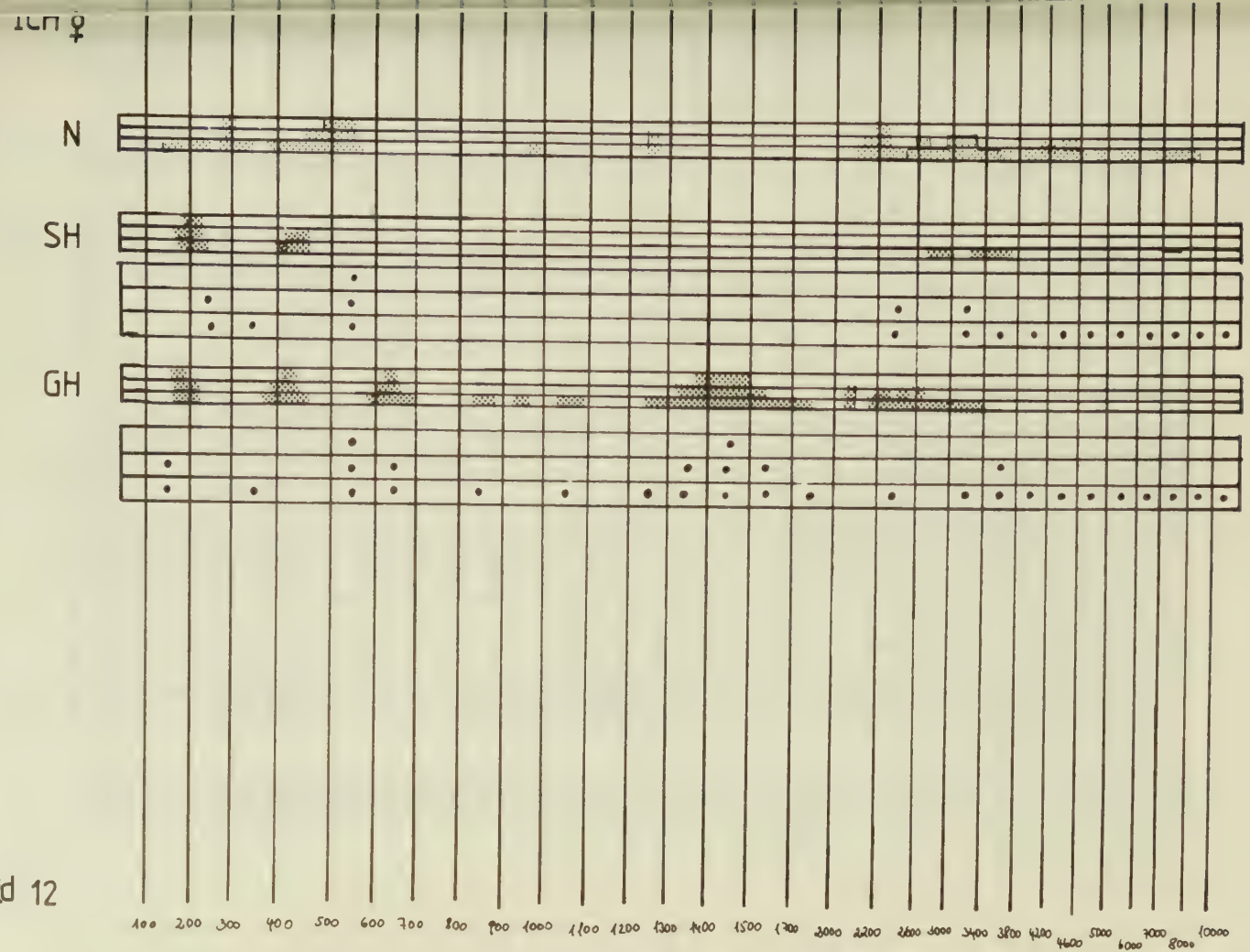
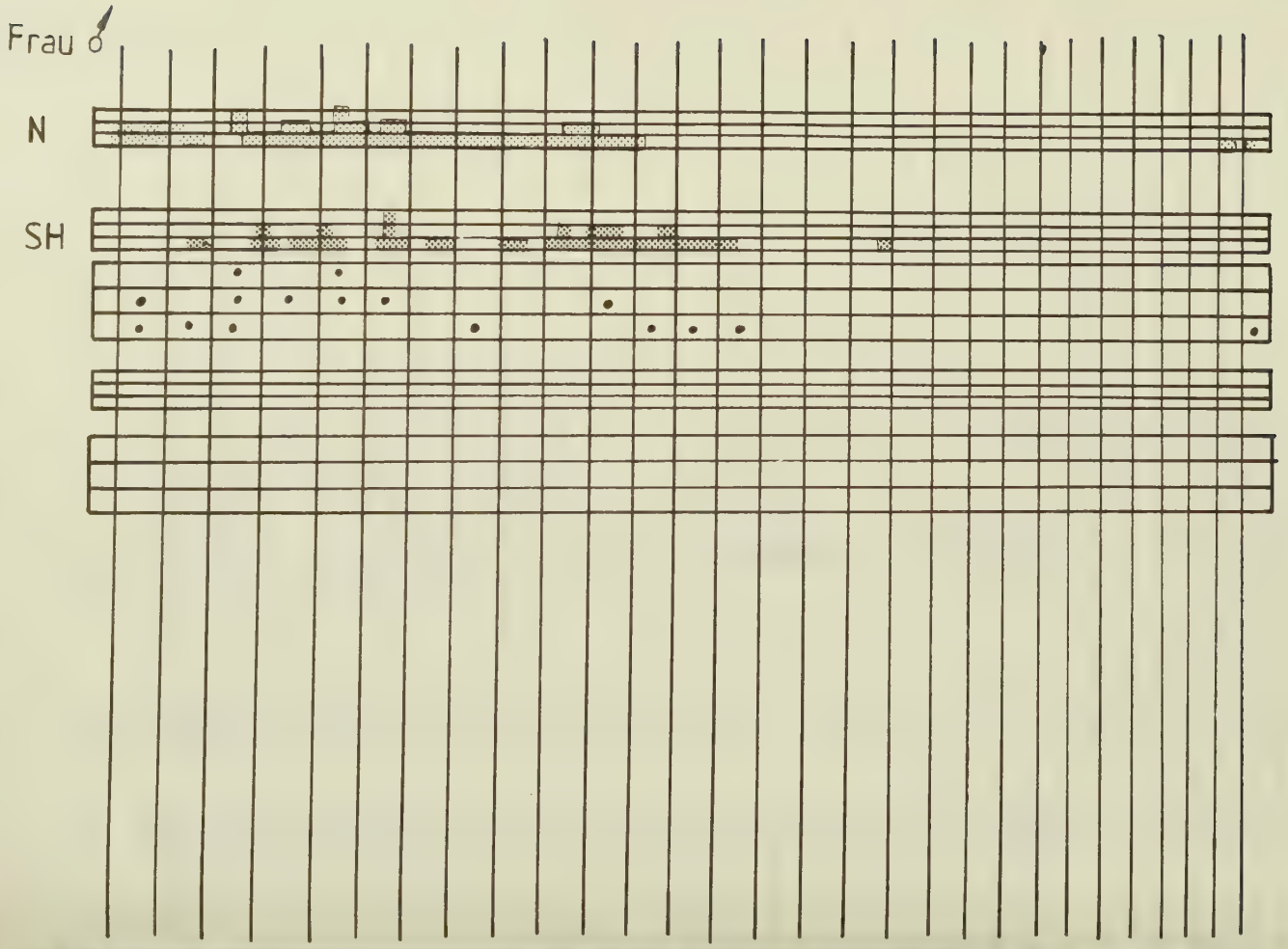
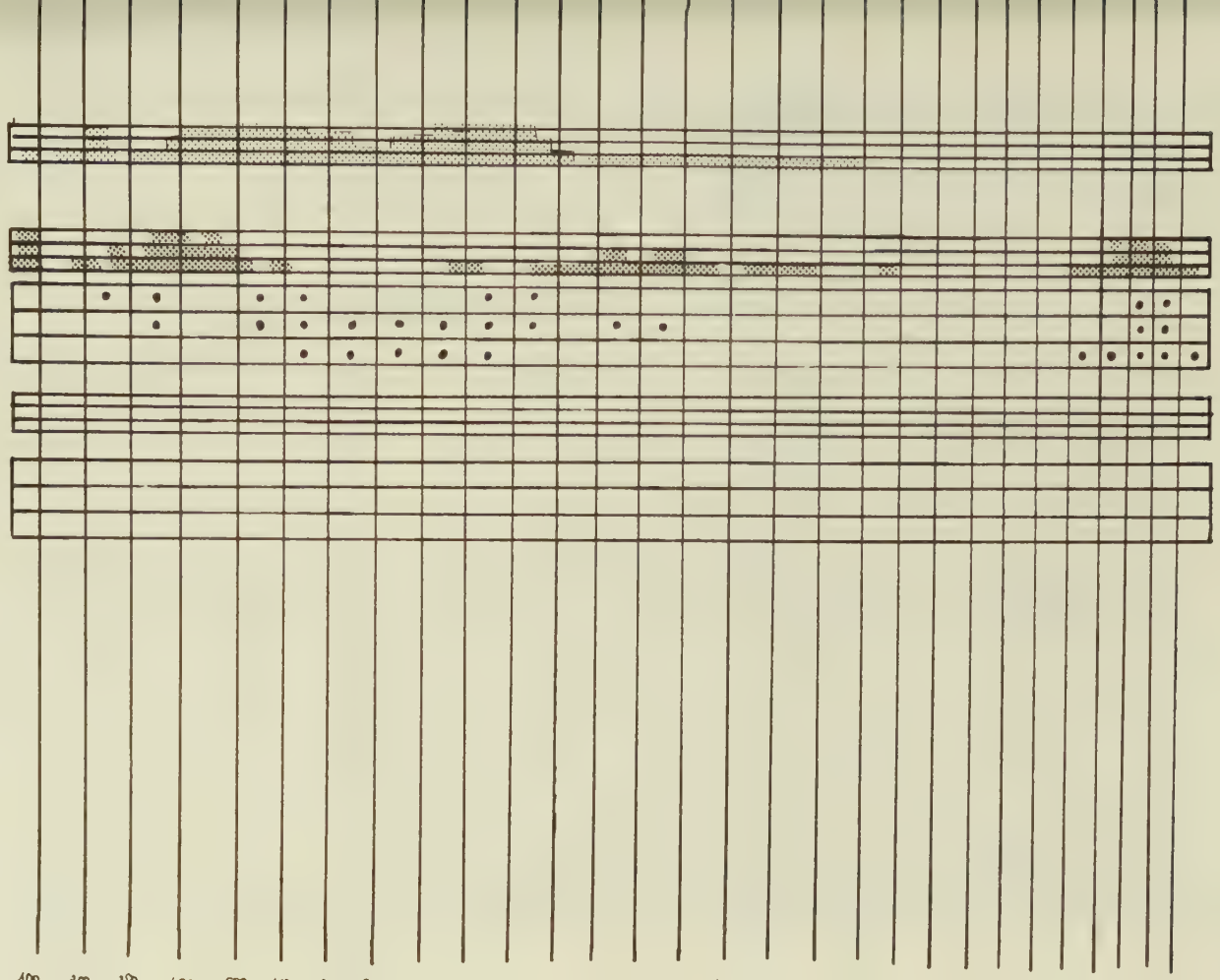

ICH ♀
N
SH
GH
100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1700 2000 2200 2600 3000 3400 3800 4200 4600 5000 6000 7000 8000 10000

Bild 12


Frau 6
N
SH



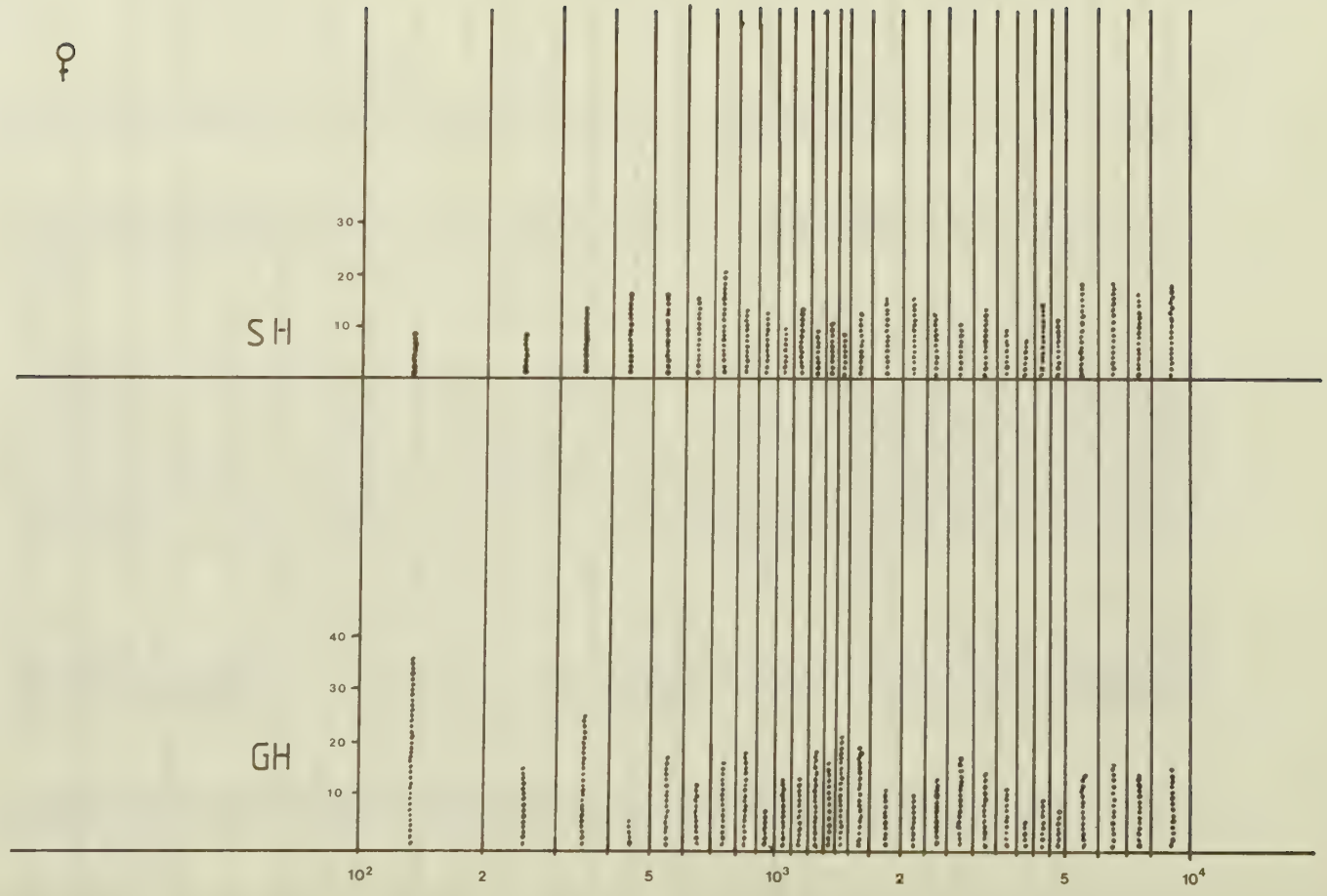


Bild 15a

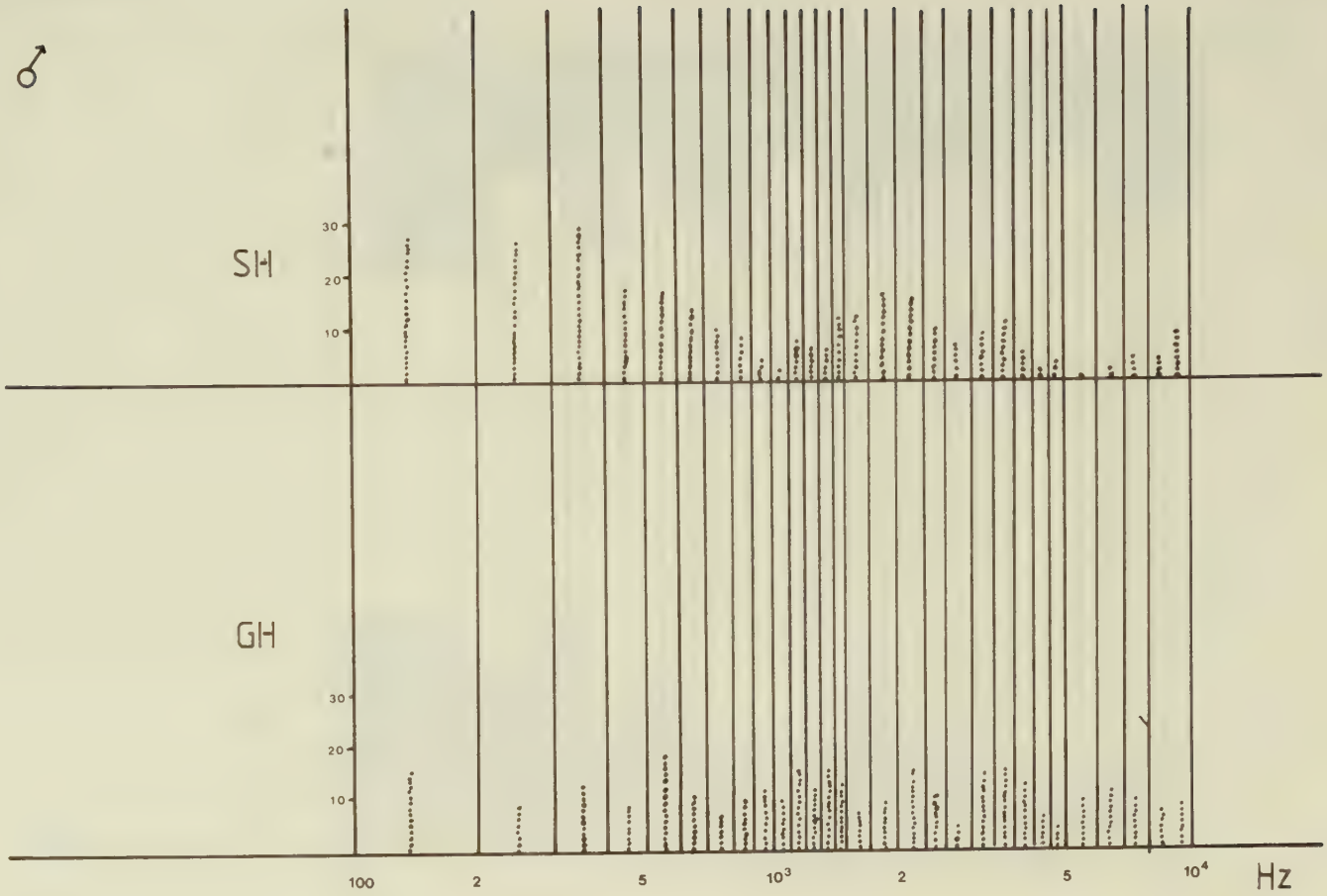


Bild 15 b

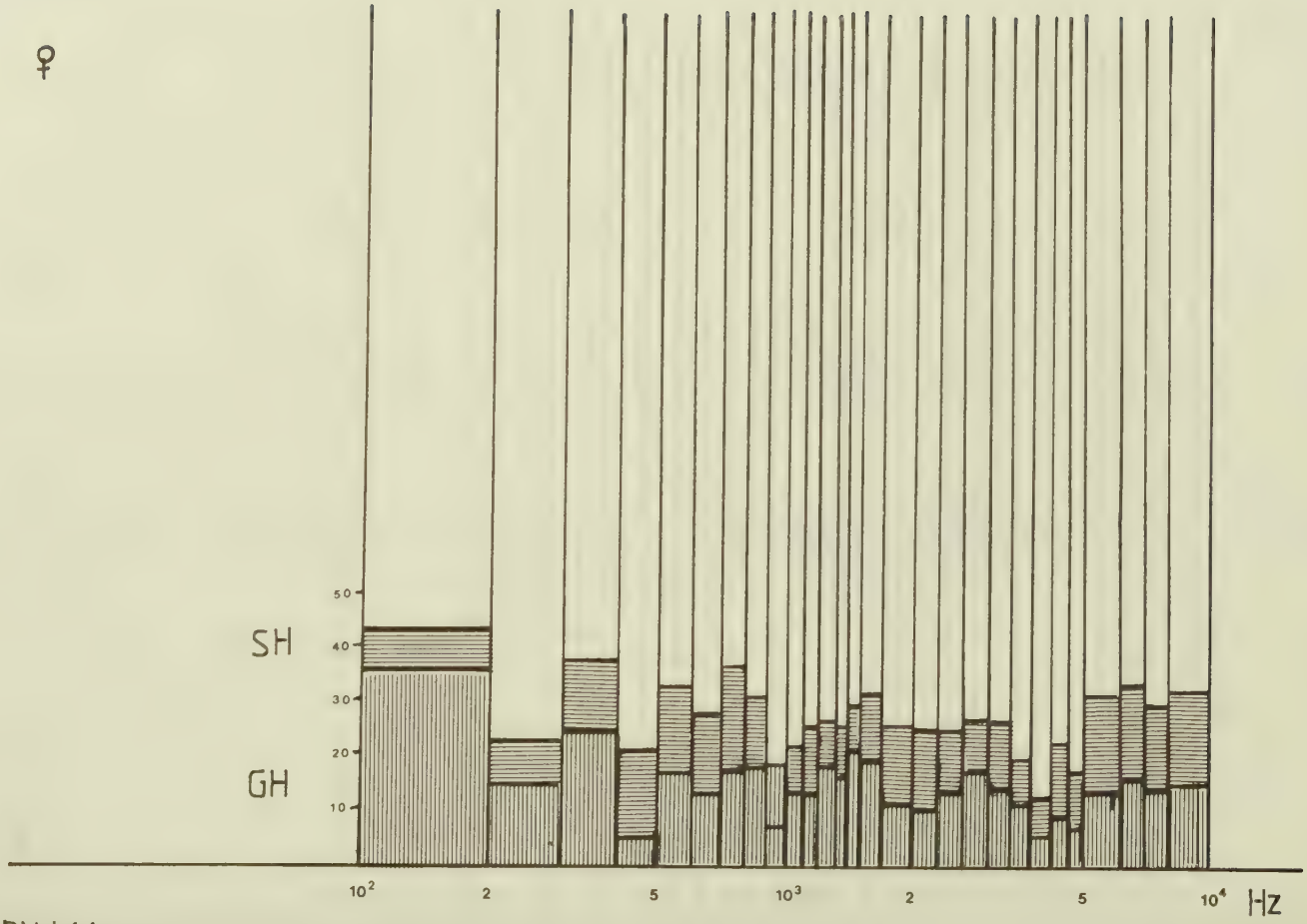


Bild 16a

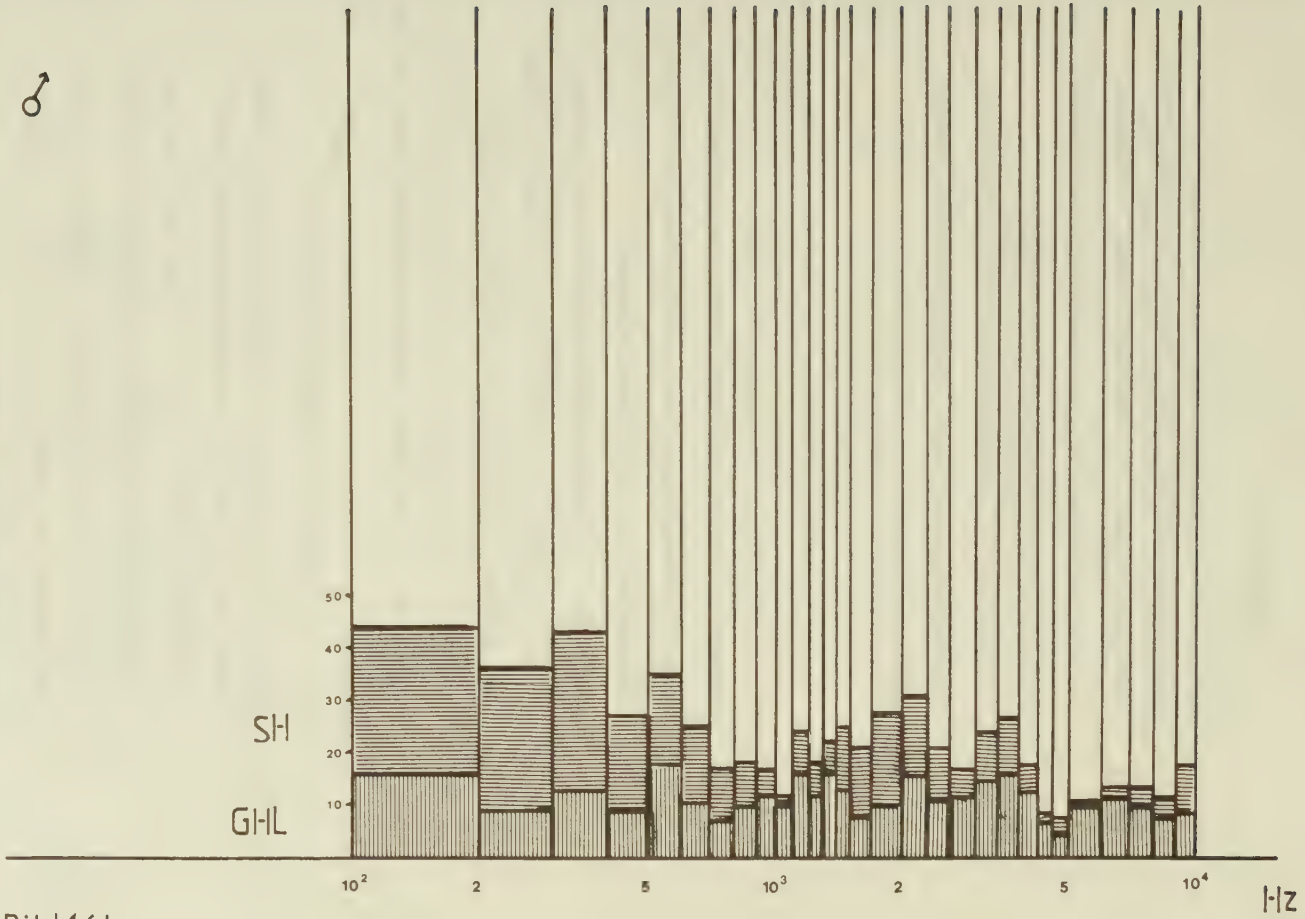


Bild 16 b

4.2. Ergebnisse

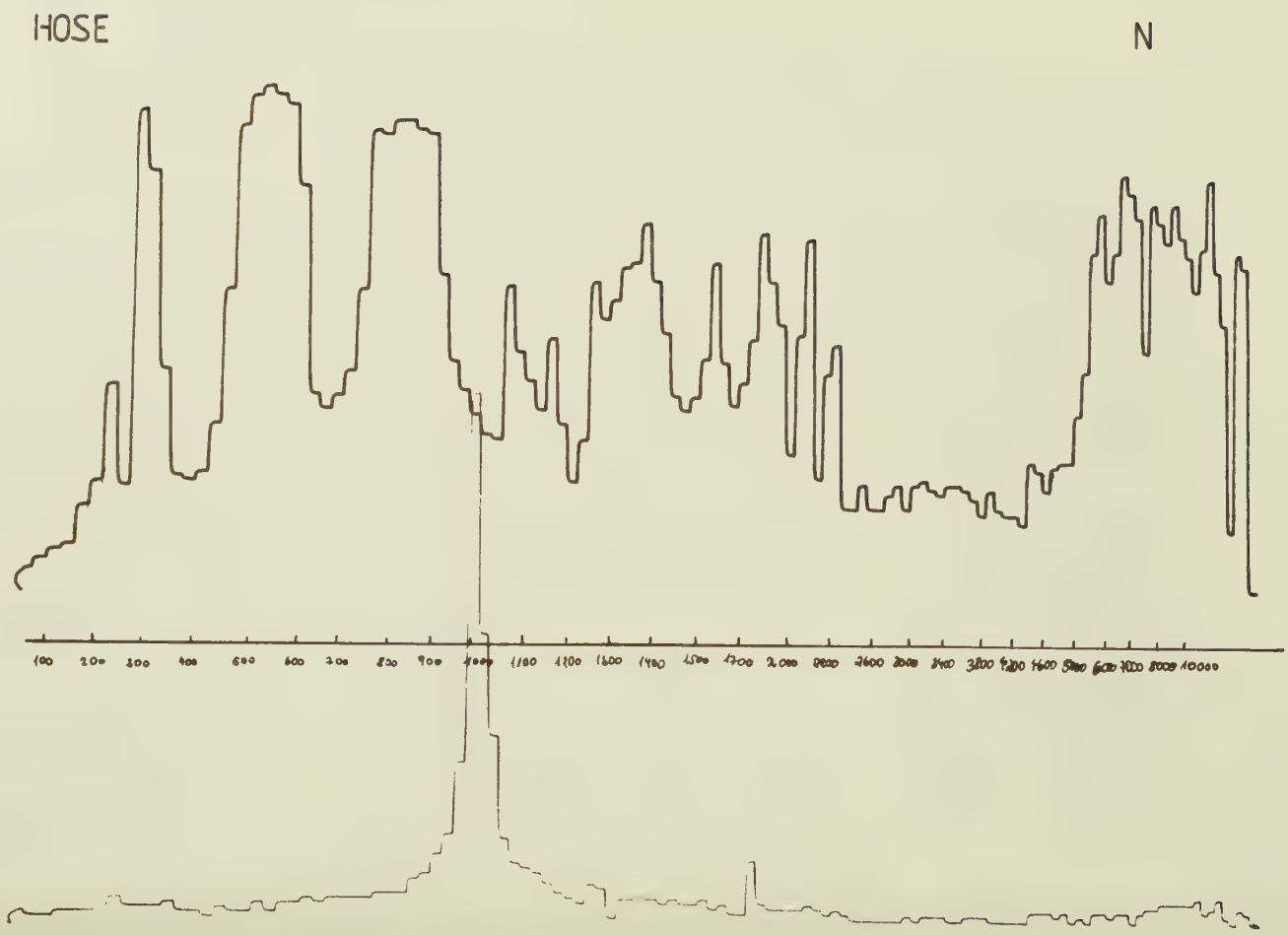
Die nun gezeigten Beispiele von Wortanalysen nach dem in Kap. 3.3 beschriebenen Verfahren veranschaulichen, in welchen Frequenzbereichen sich die menschliche Sprache bewegt.
So kann man die aus dieser Arbeit gewonnenen Ergebnisse, hier bildlich dargestellt, besser interpretieren.

4.2.1. "Spektraler Defekt" in der Schwerhörigensprache

Nehmen wir z. B. das Wort HOSE, gesprochen von einer Schwerhörigen und vergleichen es mit dem Frequenzmuster der Normalhörenden.
Der Vokal o, dessen Formant um 600 Hz liegt, zeigt ein Defizit im Spektrum der Schwerhörigen.
Das stumme e am Ende des Wortes, Formant um 1500 Hz, ist ebenfalls sehr schwach ausgebildet.
Sogar das s im hohen Frequenzbereich fehlt völlig.

Noch ein Beispiel, das Wort GABEL:
Legen wir die Bilder der Spektren übereinander, fällt sofort auf, in welchen Bereichen beim Schwerhörigen "etwas fehlt". Führt man dies an den anderen Worten ebenfalls durch, kristallisiert sich folgendes heraus: obwohl die Schwerhörigensprache immer noch leichter verständlich ist, als die Gehörlosensprache,

stellen wir fest, daß ein erheblicher Defekt im Frequenzspektrum vorhanden ist. Manche Frequenzen, besonders die hohen beim s oder sch oder ch, fehlen einfach. Darum bezeichnet man dieses als "Spektralen Defekt" (Bild 17-20).


HOSE
N

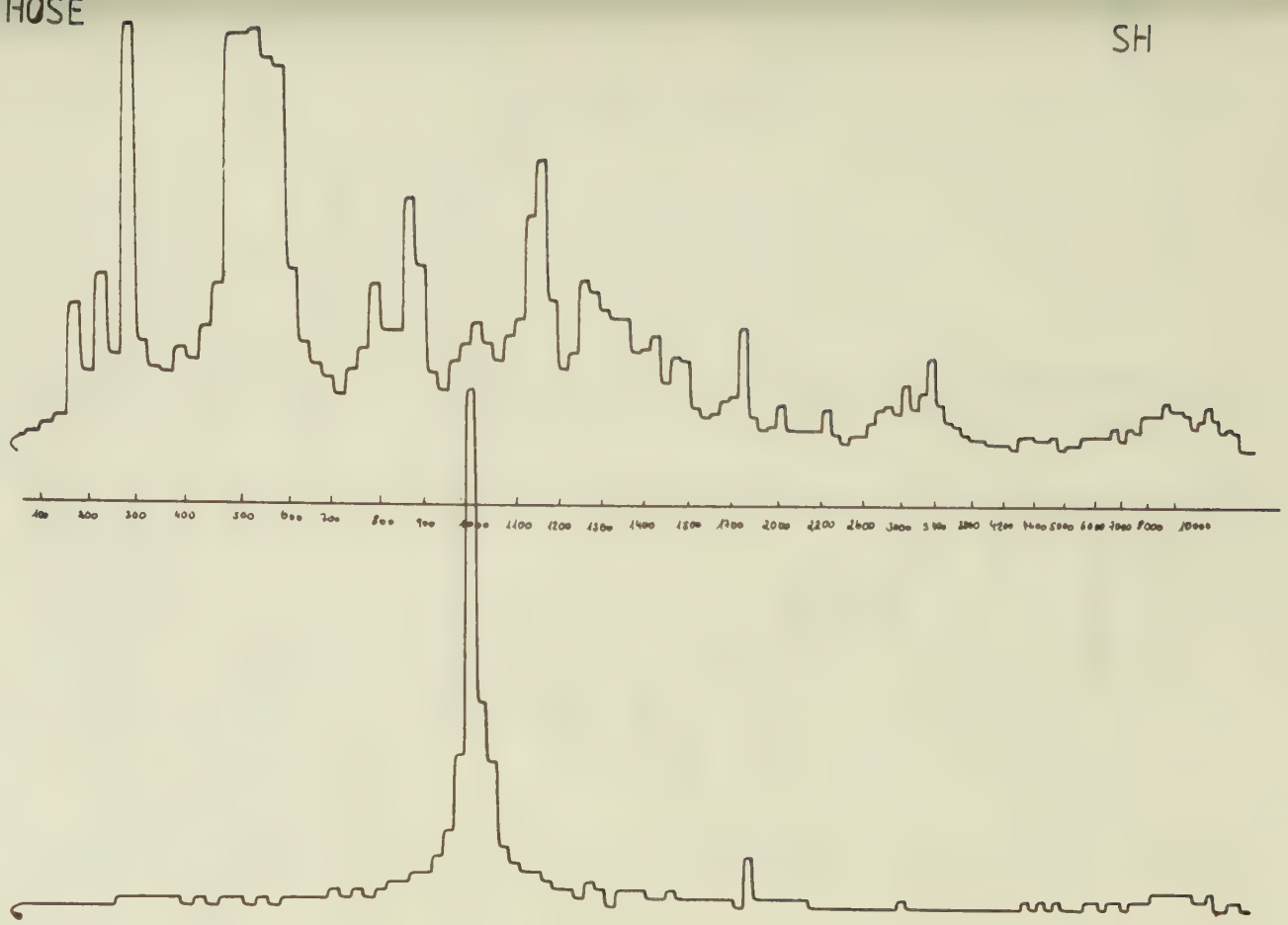


Bild 18

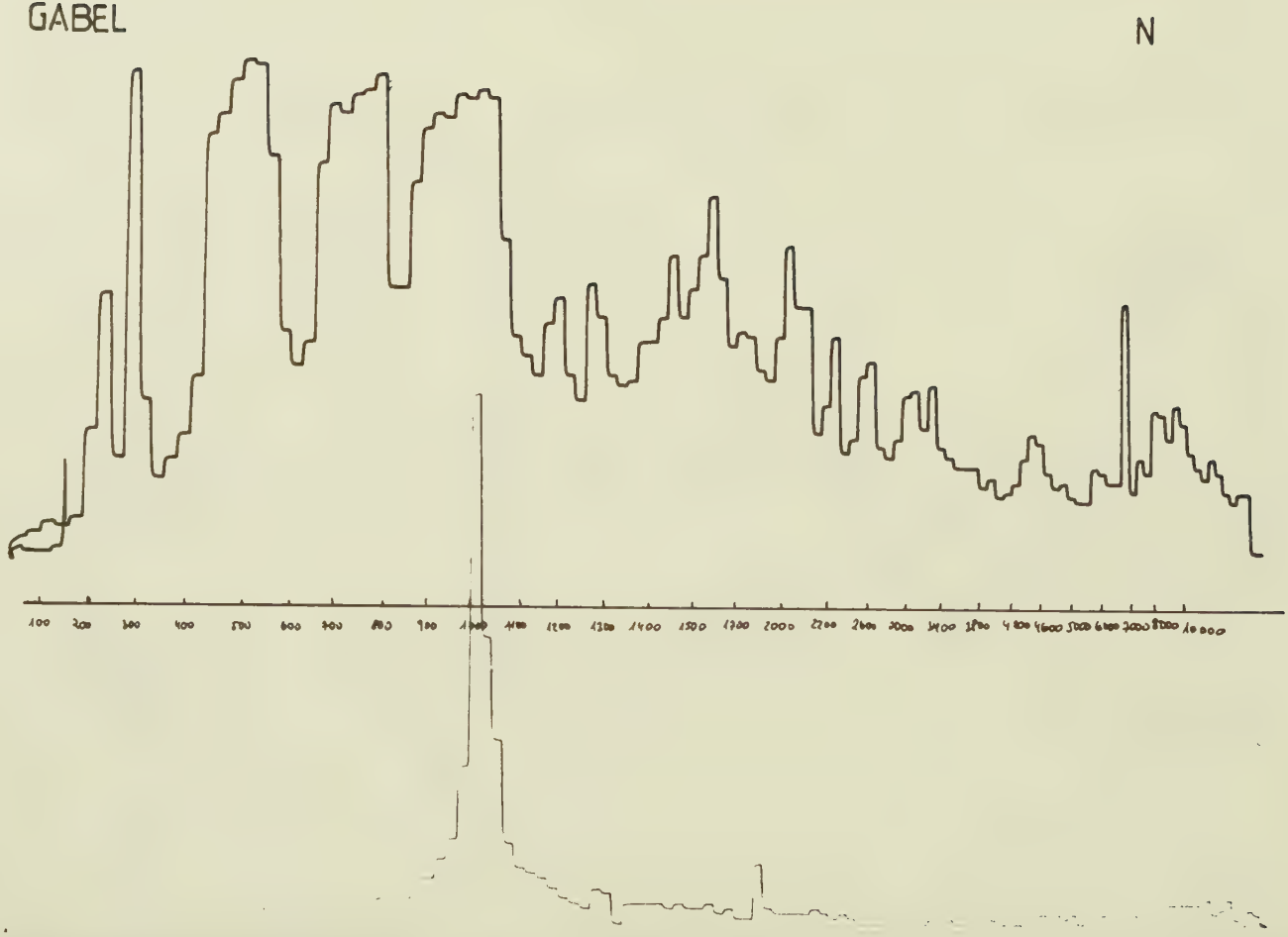


Bild 19

GABEL

SH

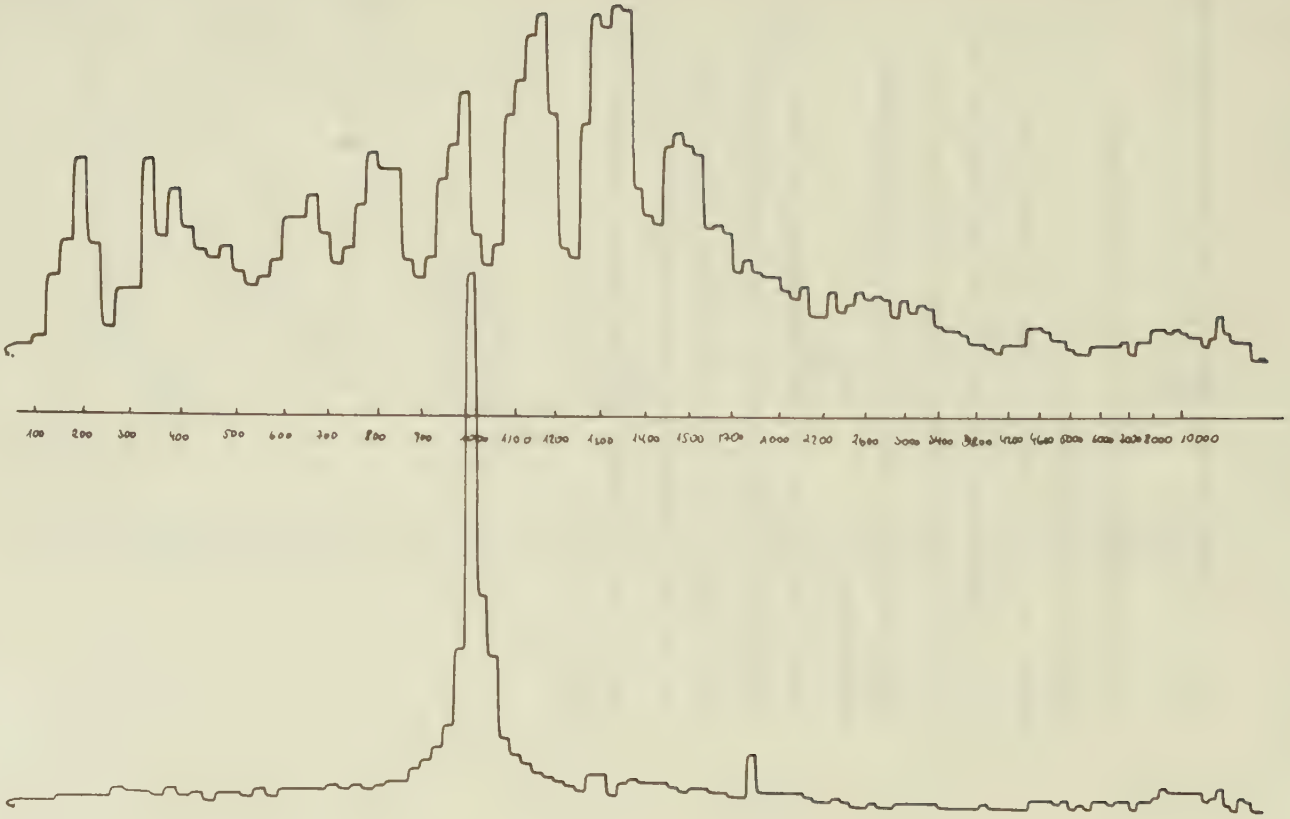


Bild 20

4.2.2. "Spektraler Überschuß" in der Gehörlosensprache

Bei den Gehörlosen bietet sich im Spektrenvergleich ein ganz anderes Bild.
Nehmen wir z. B. das Wort LÖWE, so sehen wir, daß im Frequenzbereich um 1100 Hz und 2000-3200 Hz ein deutlicher Überschuß herrscht, oder das Wort JUNGE: auch hier sind sehr deutlich überschüssige Frequenzen.
Dieses "zuviel" in der Gehörlosensprache trägt wesentlich dazu bei, daß man ihre Sprache kaum verstehen kann. Wir stellen also fest, daß im Gegensatz zur Schwerhörigensprache beim Gehörlosen ein "spektraler Überschuß" in der Sprache vorhanden ist (Bild 21-24).

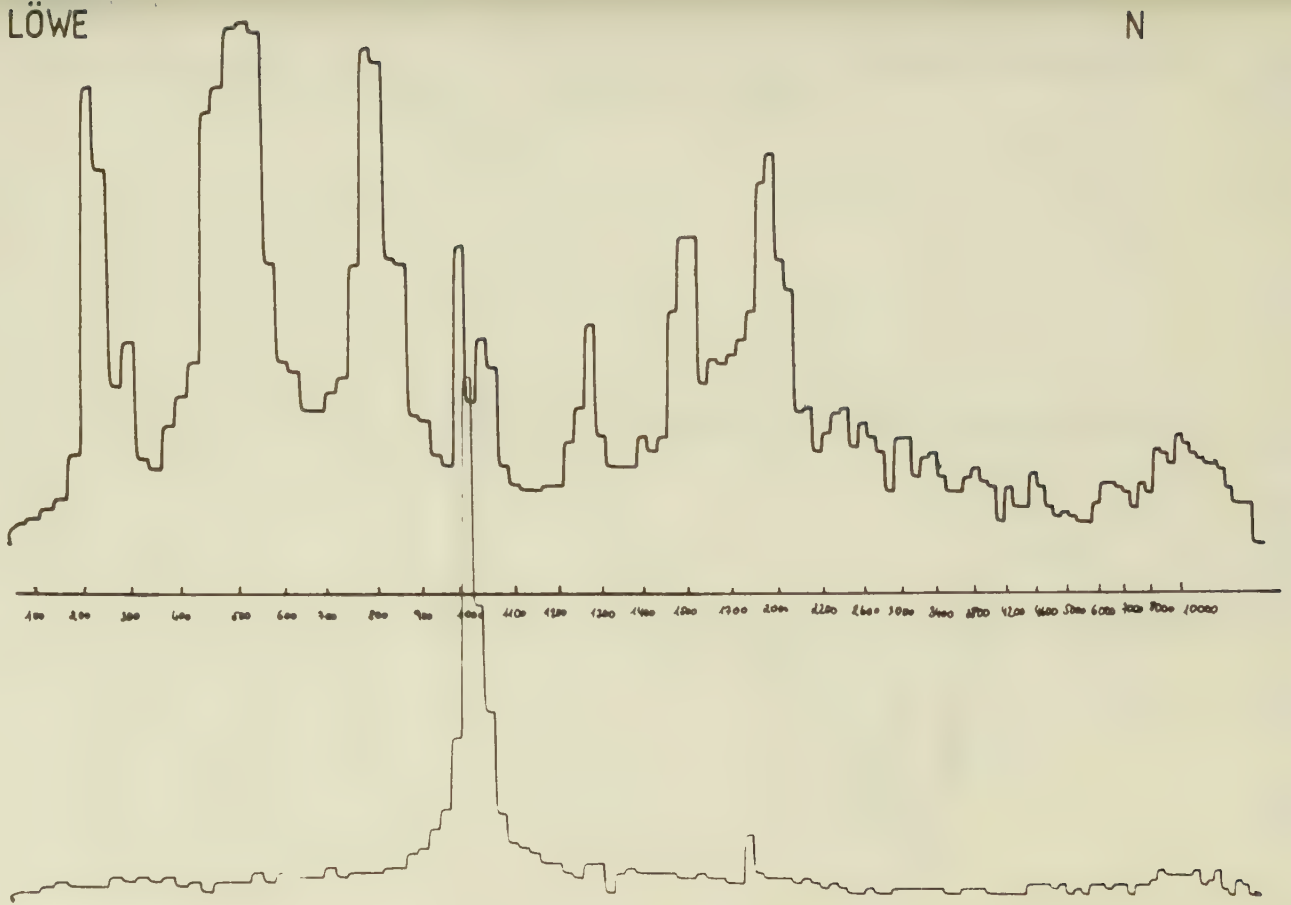


Bild 21

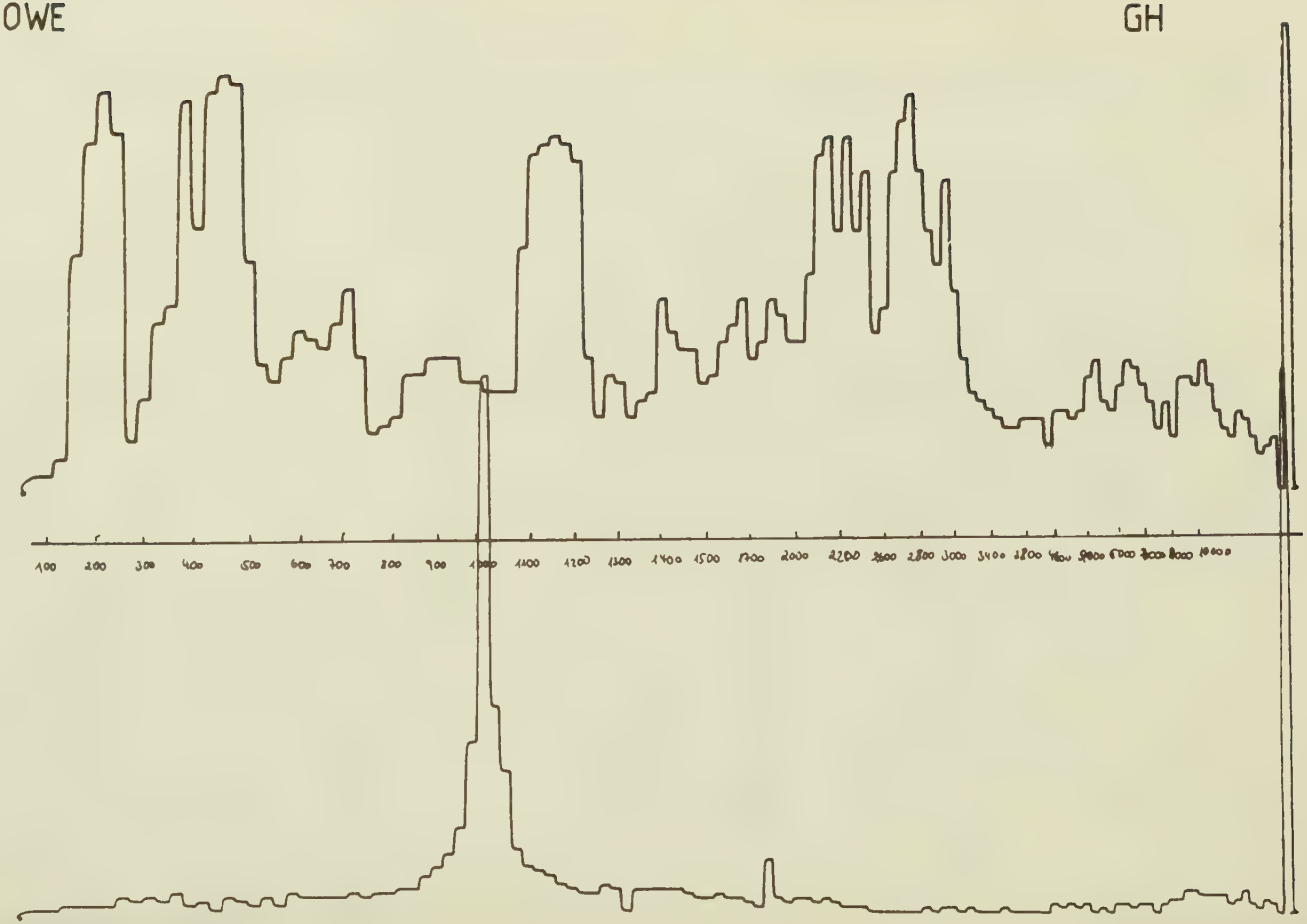


Bild 22

JUNGE

N

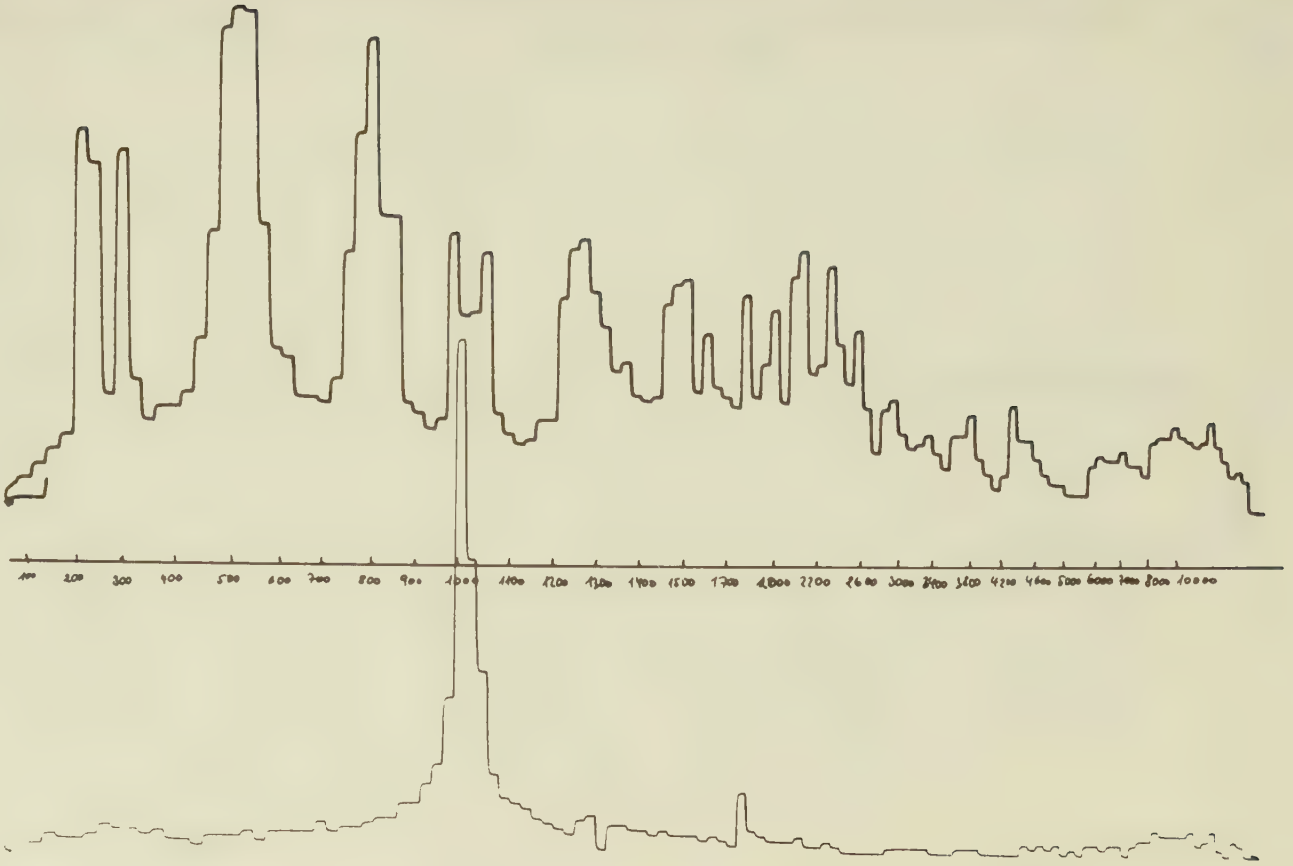


Bild 23

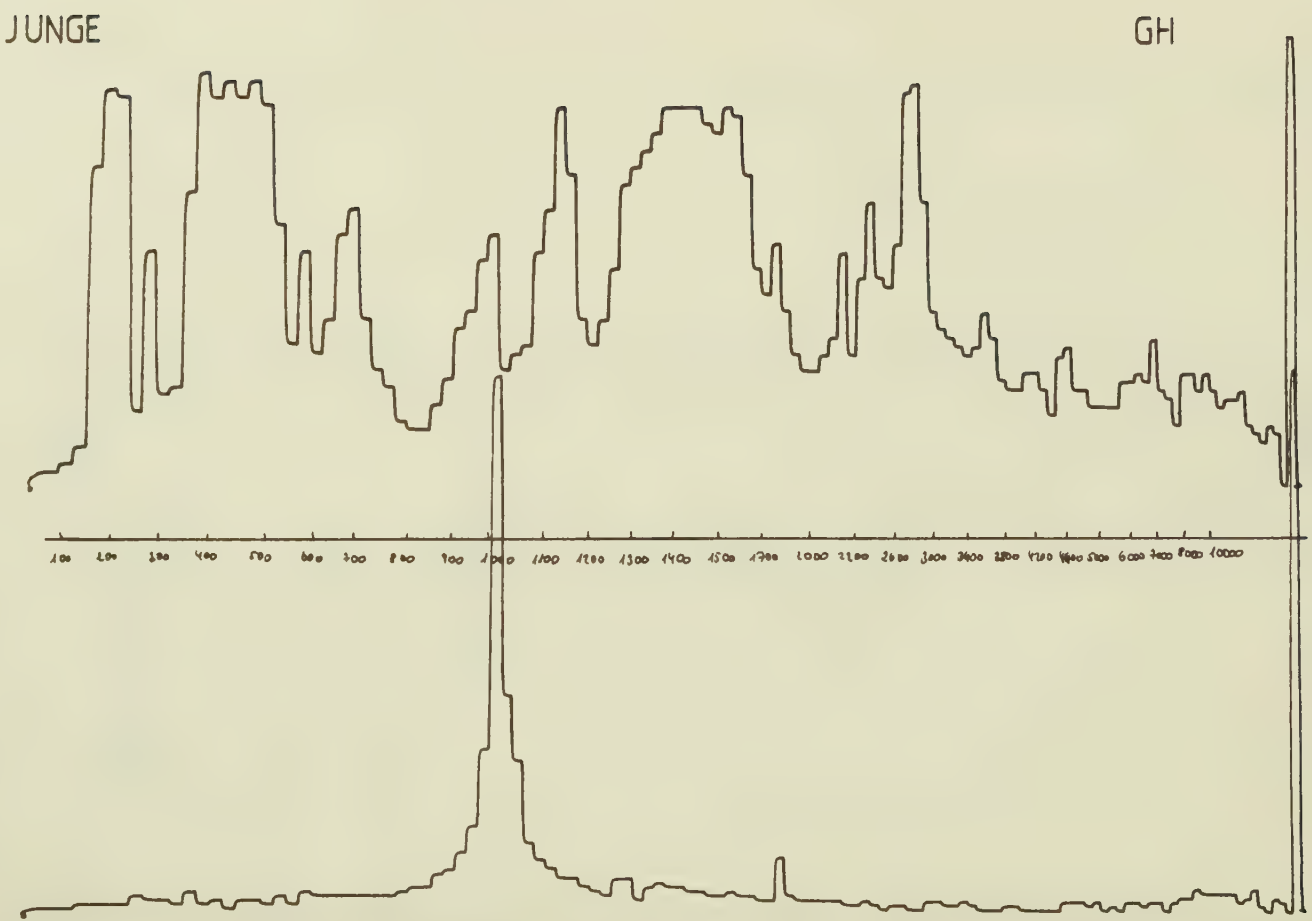


Bild 24

5. Diskussion

Die Frequenzunterschiede in der Hörbehindertensprache lassen sich folgendermaßen darstellen:
Bei den Schwerhörigen finden wir Differenzen, besonders im mittleren Frequenzbereich, d. h. 400-1000 Hz, mit einem Höhepunkt um 700 Hz. Dies macht sich klanglich so bemerkbar, daß stimmhafte Konsonanten, wie z. B. n, m, f, l, in der Artikulation fehlen. Besonders auffällig ist aber der Wegfall der hohen Frequenzen von 4000-9000 Hz (peak bei 7000 Hz). So fehlt das s, das z, das st, am Ende eines Wortes, das d am Wortende wird zu hart gesprochen, als t. Die Sprache ist etwas verwaschen und undeutlich. Trotzdem ist die Schwerhörigensprache leichter verständlich, da die Vokale meist besser artikuliert werden und der Zuhörer die fehlenden oder undeutlich ausgesprochenen Teile eines Wortes erahnen kann.
Beim Gehörlosen ist das Frequenzspektrum wiederum anders gelagert. Hier sind die Differenzen besonders im niedrigen Frequenzbereich um 100-200 Hz und 350 Hz, dann um 500-2000 Hz (peak bei 1000 Hz) und wieder in den hohen Frequenzen. Dem Gehörlosen fällt nun auch das Bilden der Vokale schwer, besonders die Differenzierung und Vokaldehnung oder -kürzung. Klanglich macht sich das so bemerkbar, daß an falschen Stellen im Wort betont wird und

ebenso das Heben und Senken in der Stimme in ungewohnter Weise erfolgt. Auch Akzente werden, wenn überhaupt, falsch gesetzt. Darum klingen die Worte in einer bestimmten Art gleich eintönig, und, da das Tempo sehr herabgesetzt ist, auch schwer verständlich. Es bereitet dem Gehörlosen eine große Anstrengung zu artikulieren. Trotz großer Mühe gelingt es ihm selten, einigermaßen verständlich zu sprechen. Je länger der Satz ist, desto schwieriger ist es für den Zuhörer, einzelne Teile daraus zu erkennen, da der Gehörlose in Frequenzen spricht, die normalerweise nicht vorkommen. Es ist also so, daß die "normalen" Frequenzen oft fehlen oder zu schwach ausgeprägt sind und dafür andere hinzukommen, die das Gesprochene noch schwerer verständlich machen.

6. Empfehlungen für die SFT-Technik

Durch die Darstellung der Unterschiede in der Hörbehinderten Sprache im Vergleich zu der des Normalhörenden, konnten wir die Filterparameter für die SFT-Anlage genauer festlegen. Die Mittenfrequenzen der dreieckförmigen Durchlaßcharakteristik sollten so eingestellt werden, daß wichtige Frequenzbereiche mit dichten Unterschieden steiler und unwichtige Bereiche flacher zur Darstellung kommen.
Dies ist erreichbar, wenn man die Einstellung folgendermaßen ändert: Die Mittenfrequenz des Tieffrequenzfilters wird auf 250 Hz eingestellt. Das zweite wird auf 1060 Hz gestellt, und die Mittenfrequenz des Hochfrequenzfilters auf 7000 Hz verschoben. So ist schon bei kleiner Änderung der Frequenz eine große Änderung im Bild sichtbar, so daß die optische Rückkopplung für den Hörbehinderten über die SFT-Anlage genau und differenziert erfolgt.

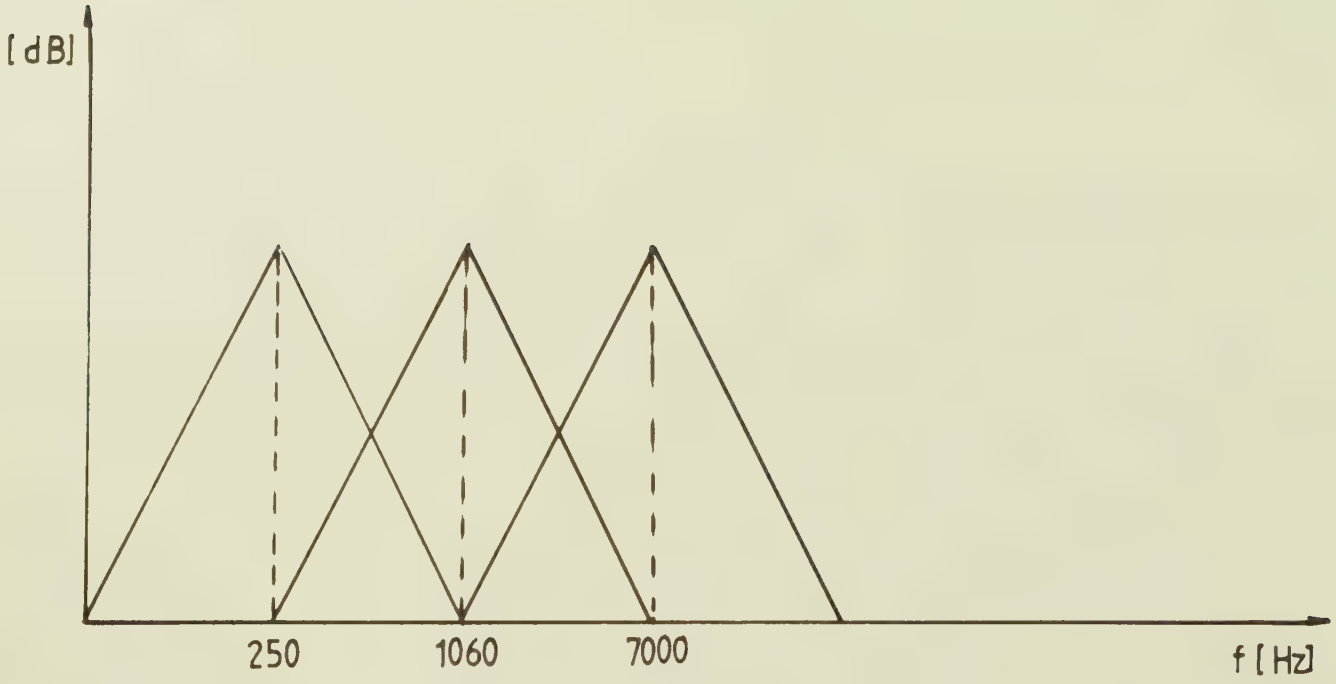
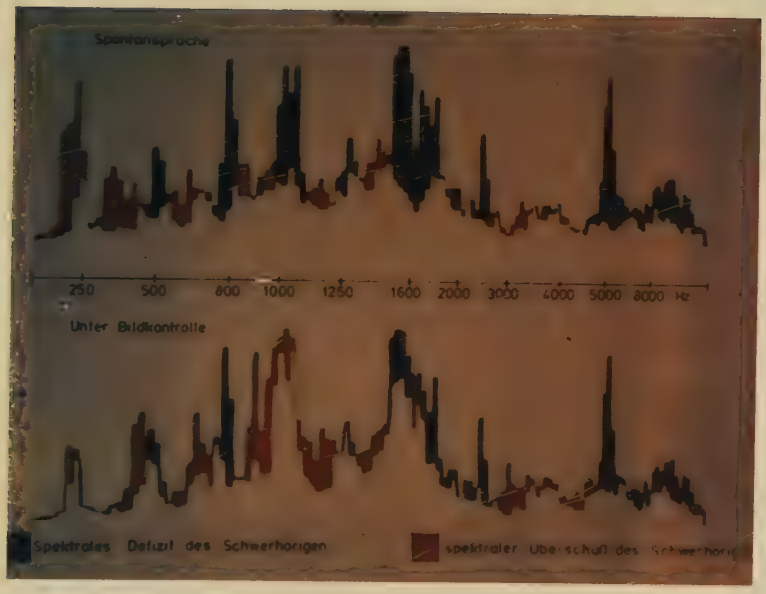


Bild 25
(graphische Darstellung der Ergebnisse der Filterparameter)

7. Anregung zu weiterführenden wissenschaftlichen Arbeiten

Um die Schwierigkeiten der Hörbehinderten und ihre Integration ins tägliche Leben und in den Arbeitsmarkt zu erleichtern, ist es wichtig, eine "Hörhilfe" zu schaffen.
Diese Hilfe muß so viel Information übertragen, daß Sprache aus Bildern erlernbar wird unter Umgehung des akustischen Weges. Es muß eine Möglichkeit gefunden werden, wie Hörbehinderte ihre Umwelt sowohl verstehen als auch ihren Mitmenschen antworten können.
So ist denn die Sprach-Farbbildtransformation als Sprachtrainer nur ein Aspekt. Eine weiterführende Entwicklung als regelrechtes Kommunikationsmittel wäre darum umso wünschenswerter.

Das Bild mit dem gesprochenen Wort "Kasper" zeigt deutlich, wie sich die Spontansprache des Schwerhörigen unter Bildkontrolle durch Arbeit mit der SFT-Anlage ändert. Der Lerneffekt ist sichtbar an den mit verschiedenen Farben ausgefüllten Flächen, die durch die Hüllkurve beschrieben werden. Das Defizit wird geringer, und die Überschußanteile werden etwas reduziert. Je öfter der Hörbehinderte mit dieser Anlage übt, desto besser ist das sprachliche Ergebnis. So kann mittels dieser Anlage die Verständlichkeit der Hörbehindertensprache verbessert und so wertvolle Arbeit zur Integration dieser Menschen in unserer Gesellschaft geleistet werden.


Spontansprache
250
500
800
1000
1250
1600
2000
3000
4000
5000
8000 Hz
Unter Bildkontrolle
Spektrales Defizit des Schwerhörigen

8. Zusammenfassung

Es werden spektrale Unterschiede in der Sprache Schwerhöriger und Gehörloser im Vergleich zur Sprache Normalhörender dargestellt.
Die Frequenzanalyse wurde mittels eines Echtzeitanalysators mit integriertem Rechner durchgeführt. Weibliche und männliche Hörbehinderte sprachen eine Anzahl von Worten, die nach den Kriterien der Möhring'schen Lauttreppe ausgewählt waren, für die Analyse auf ein Tonband. Aus den Unterschieden konnte ausgewertet werden, daß die Filterparameter mit den Mittenfrequenzen um 250, 1060 und 7000 Hz in die Sprach-Farbbildtransformationsanlage eingesetzt werden mußten. So wird für die optische Rückkopplung des Hörbehinderten ein möglichst hoher Gehalt an Information über das gesprochene Wort weitergegeben. Dieses Wort wird auf einem Bildschirm als farbige Hüllkurve sichtbar gemacht, so daß Hörbehinderte die Möglichkeit haben, trotz fehlender akustischer Rückkopplung, die Artikulation ihrer Sprache zu verbessern.

Literaturverzeichnis

1. Boehme, G.: Stimm-, Sprech- und Sprachstörungen. G. Fischer, Stuttgart 1974

2. Boehme, G.: Methoden zur Untersuchung der Sprache, des Sprechens und der Stimme. G. Fischer, Stuttgart 1978

3. Essen, O. von: Allgemeine und angewandte Phonetik, Berlin 1962

4. Gehrhardt, D.: Zum Lautsystem des Neuhochdeutschen, Zs. f. Phon. 1950, S. 132 ff

5. Gutzmann, H.: Lehrbuch der Sprachheilkunde, Fischer's Medizinische Buchhandlung, Berlin 1924

6. Heihe, G.; Rieh, C.; Thürmann, E.: Signalwandelnde apparative Hilfen für Sprachausbildung u. phonetische Korrektur bei fehlender, gestörter oder sprachfunktional verzerrter auditiver Rückmeldung, in: Berichte Nr. 3, Zust. f. Phonetik der Universität Köln, Sept. 1974

7. Jakobson, R.; Halle, M.: Grundlagen der Sprache, Berlin 1960

8. Jespersen, O.: Lehrbuch der Phonetik, Leipzig u. Berlin 1904

9. Klinghardt, H.: Sprachmelodie u. Sprechakt, Marburg 1925

10. Kloster-Jensen, M.; Jussen, H.: Lautbildung bei Hörgeschädigten, Abriß einer Phonetik, Berlin 1970

11. Köster, D.: Visible Speech, Volta Revieu 57 (1955). 235-256

12. Kopp, G.A.; Green, H.C.: Visible Speech. Volta Revieu 50 (1048) 60-62, 264-266

13. Kuenzel, H.I.; Borger, B.-D.: Farbige Schallspektrographie: Einige Anwendungsbeispiele einer neuen Technik in der Phoniatrie, Sprach-Stimme-Gehör G (1982) 74-78, Georg-Thieme-Verlag

14. Lafon, J. G. et al: La melodie de la parole et la surdité. Rev. Laryng. otol. Rhinologie 88 (1967) 179-187

15. Laziczins, J. von: Lehrbuch der Phonetik, Berlin 1961

16. Levitt, H.: Aconstic and perceptual characteristics of the speech of deaf children, JASAS (1972); 158-159 (A)

17. Levitt, H.; Smith, C.R.; Stromberg, H.: Acoustic, articulatary and percephial caracteristics of the speech of deaf children. Preprints, Speech Comm. Seminar Stockholm 1974, Bd. 4

18. Lindner, G.: Untersuchungen über die Stimmlage der Gehörlosen. Die menschliche Stimme, Hamburg 1957, 91-98

19. Lindner, G.: Über den zeitl. Verlauf der Sprechweise bei Gehörlosen. Fol. Phon. 14 (1962), 67-76

20. Lindner, G.: Der Einfluß der Vokaldauer auf die Sprachverständlichkeit bei Hörgeschädigten. Phonetica 13 (1965), 65-68

21. Maach, A.: Die Korrelation Akzent/Qualität, Zs. f. Phon., 1954, S 226 ff

22. Mátony, J.: Studies of the speech of the deaf. STL-QPSR 1965, H. 16-24, H 4.31

23. Mehnke, S.: Zs. f. Hörgeräte-Akustik 3,71 (1964)

24. Meyer-Eppler, W.: Die Spektralanalyse der Sprache, Zs. f. Phon. 1950, S. 241 ff, 328 ff

25. Meyer-Eppler, W.: Praktische Akustik, Joh. Ambrosius Barth, München 1957

26. Mitronomicz, A.: Modification de la respiration chez les sourds-umets atteints de troubles de la pavle. Rev. Franc. Phoniat. 5 (1937) 209

27. Oeken, F.-W.: Frequenztransposition zur Hörverbesserung in: HNO-Heilkunde, Wanglose Schriftenreihe H 17. J. A. Barth, Leipzig 1966

28. Pickett, J.M.: Recent research on speech-analysing aids for the deaf. IEEE Trans. Audio Elektroacoust. AU-16 (1968)

29. Poeter, R.K.: "Visible speech", AAD 91 (1946) 447-452

30. Reisberg, A.: Visual aids for speech correction. AAD 113 (1968) 178-194

31. Rossier, Bühlmann, Wiesinger: Physiologie u. Pathophysiologie der Atmung. Berlin, Göttingen, Heidelberg 1956

32. Ruhrberg, W.: Zur quant. Erfassung von Sprachstörungen im Kindesalter, HNO 22, 28-31 (1974)

33. Sievers, E.: Grundzüge der Phonetik, Leipzig 1901

34. Schär, A.: Untersuchungen über die Tonhöhenbewegung in der Sprache des Taubstummen. VOX 31 (1921) 62-69

35. Trendelenburg, F.: Einführung in die Akustik, Springer Verl., Berlin 1961

36. Trendelenburg, F.; Franz, E.: Zs. f. techn. Phys. 16, 513 (1935)

37. Tscheschner, W.: Ergebnisse bei der Analyse von deutschen Sprachlauten; Zs. f. Phon., Sprachwiss. u. Kommunikationsforschung 1964, S 1 ff

38. Wängler, H. H.: Grundriß einer Phonetik des Deutschen 2. Aufl., Elwert Verl. Marburg 1967

39. Wängler, H. H.: Phonetik, Pädagog. Lex. Stuttgart 1961

40. Wängler, H. H.: Atlas deutscher Sprachlaute, Berlin 1967

41. Zwirner, E.: Probleme der Sprachmelodie, Zs. f. Phon. u. allgem. Sprachwiss. 1952

Lebenslauf

Ich wurde am 20.08.1957 als Tochter des Arztes Dr. Cemal Gedik und der Ärztin Dr. Behiğe Gedik, geb. Bozhuğ in Manisa (Türkei) geboren. Bis zu meinem fünften Lebensjahr lebte ich in der Türkei.

1962 kam mein Vater zur ärztlichen Weiterbildung nach Deutschland, seitdem lebt die Familie hier. Meine Grundschule absolvierte ich in Gummersbach, Freiburg und Frankfurt, das Gymnasium besuchte ich in Frankfurt, Homburg/Saar und Krefeld. Diese Ortswechsel ergaben sich aus der beruflichen Tätigkeit meines Vaters.

In Krefeld machte ich im Mai 1976 mein Abitur und begann im Wintersemester 76/77 mein Medizinstudium an der Universität Düsseldorf. Hier legte ich das Staatsexamen nach dem Praktischen Jahr im Lukas-Krankenhaus Neuss, am 28.10.1982 ab.

Seit 1978 bin ich mit dem Arzt Matthias Neblung verheiratet. Ich habe meine Assitenzarztzeit im Fach "Augenheilkunde" am 1.4.1983 bei Herrn Prof. Friedburg an den Städt. Krankenanstalten Krefeld begonnen.

Ich möchte Herrn Professor Esser für die Überlassung des Themas und seine fachliche und persönliche Unterstützung danken. Er hatte stets Zeit, mir wertvolle Hinweise und Ratschläge für die Bearbeitung zu geben.